



Prospective

droit, écologie & économie de la biodiversité

UNE PROSPECTIVE DU CNRS

2015



www.cnrs.fr

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	P 3
INTRODUCTION	P 5
CHAPITRE 1 : VALEURS ET SERVICES DE LA BIODIVERSITÉ	P 9
CHAPITRE 2 : RÉSILIENCE, IRRÉVERSIBILITÉS ET INCERTITUDES	P 23
CHAPITRE 3 : INÉGALITÉS ÉCOLOGIQUES ET JUSTICE ENVIRONNEMENTALE	P 35
CHAPITRE 4 : MODÉLISATION, SCÉNARISATION ET AIDE À LA DÉCISION	P 49
RÉFÉRENCES	P 58
GLOSSAIRE	P 60
LISTE DES AUTEURS	P 64



www.cnrs.fr

droit, écologie & économie de la biodiversité

Prospective

Coordination :
Stefano Bosi et Agathe Euzen

Comité scientifique :
Ingela Alger
Stefano Bosi
Patrice Bourdelais
Isabelle Doussan
Nathalie Hervé-Fournereau
Jean-Charles Hourcade
Françoise Gaill
Lionel Ragot
Jean-Michel Salles
Katheline Schubert
Stéphanie Thiébault

Contributeurs :
Luc Abbadie (écologue)
Jean-Pierre Amigues (économiste)
Karima Benzada (juriste)
Philippe Billet (juriste)
Denis Couvet (écologue)
Marie-Pierre Camproux Duffrène (juriste)
Wolfgang Cramer (écologue)
Isabelle Doussan (juriste)
Charles Figuières (économiste)
Emilie Gaillard (juriste)
Nathalie Hervé-Fournereau (juriste)
Alexandra Langlais (juriste)
Franck Lecocq (économiste)
Michel Loreau (écologue)
Sandrine Maljean-Dubois (juriste)
Vincent Martinet (économiste)
Agnès Michelot (juriste)
Hélène Morlon (écologue)
Gilles Pinay (écologue)
Lionel Ragot (économiste)
François Salanié (économiste)
Jean-Michel Salles (économiste)
Katheline Schubert (économiste)

AVANT-PROPOS



Comprendre la complexité du monde vivant est l'une des grandes préoccupations des scientifiques, alors même que la prise de conscience collective de sa fragilité s'opère à la fin des années 1980, période à laquelle apparaît le mot « biodiversité » (1992). L'écologie a permis de mettre en évidence les diversités de ce patrimoine naturel reconnu vital pour les sociétés humaines, dont les activités le menacent de plus en plus.

Les organismes vivants, dans leur diversité, s'adaptent et évoluent en réponse aux variations à court terme et aux changements à long terme de leurs environnements. Le croisement d'informations d'origines multiples, comme les archives naturelles et historiques portant sur des milieux diversement anthropisés ou encore la modélisation, conduit à estimer que la biosphère est aujourd'hui confrontée à des changements importants et rapides, dont le déterminisme est avant tout anthropique. Si la vitesse et l'ampleur des processus et leurs mécanismes restent à définir, de nombreux signes témoignent d'une sixième crise majeure de la biodiversité : extinctions d'espèces, changements d'aires de distribution, invasions, évolution d'agents pathogènes, dégradation de la qualité des ressources et des paysages. La lutte contre l'érosion de la biodiversité, dont les services sont indispensables à la survie des sociétés humaines, constitue l'un des enjeux écologiques et socio-économiques majeurs pour les années à venir. Le CNRS (Mission pour l'interdisciplinarité (MI), Institut écologie et environnement (INEE), Institut des sciences humaines et sociales (INSHS), Institut des sciences de l'univers (INSU)) a lancé en 2012 un appel à projets commun dans le domaine du droit et de l'économie de l'environnement et de la biodiversité, favorisant une approche globale et transversale pour répondre à la complexité de ces enjeux. Il s'agit des Projets exploratoires premier soutien (PEPS) qui visent à faire émerger de nouveaux questionnements, fruits d'une réflexion interdisciplinaire, pour répondre aux défis liés à la perte de la biodiversité.

Cette première étape a mis en évidence le besoin de poursuivre et d'approfondir une réflexion collective et interdisciplinaire associant des écologues, des économistes et des juristes pour répondre à l'un des défis actuels qui consiste à évaluer la biodiversité et ses fonctions comme ressource et services, à analyser ses capacités de résiliences ou encore s'interroger sur les questions de justice environnementale. Compte tenu des enjeux écologiques et socio-économiques liés à la dégradation de la biodiversité, le CNRS a organisé un colloque de prospective sur l'économie et le droit de la biodiversité en mobilisant ses équipes et leurs compétences scientifiques. Un collectif d'une quarantaine de chercheurs s'est réuni du 2 au 5 avril 2013 à Oléron.



L'enthousiasme des participants durant ce séminaire, favorisé par le dynamisme du conseil scientifique, a nourri des débats particulièrement riches et éclairants comme en témoigne cet ouvrage qui en est l'aboutissement. Il marque une étape importante dans cette démarche scientifique originale et ouvre de nouvelles perspectives vers la construction de l'interdisciplinarité au service de la biodiversité.

Nous remercions sincèrement l'ensemble des participants à cette réflexion collective scientifique, réelle contribution à la construction de la société de demain.

Stéphanie Thiébault

Directrice de l'Institut écologie et environnement du CNRS

Patrice Bourdelais

Directeur de l'Institut des sciences humaines et sociales du CNRS

Anne Renault

Directrice de la Mission pour l'interdisciplinarité du CNRS



INTRODUCTION

Face aux enjeux soulevés par la perte de la biodiversité, vitale pour le devenir des sociétés, le CNRS a mobilisé des scientifiques, aux compétences variées et complémentaires, pour considérer la diversité des problématiques liées à la biodiversité dans toute leur complexité. Associer des chercheurs spécialistes des sciences de la nature et des sciences humaines et sociales pour échanger, débattre et construire une réflexion autour d'une préoccupation commune, la préservation de la biodiversité, a permis d'engager une démarche interdisciplinaire originale et nécessaire pour appréhender cette complexité.

Le colloque organisé par le CNRS à Oléron en 2013 a associé une quarantaine de chercheurs, des écologues, des économistes et des juristes, afin de promouvoir un regard croisé sur le phénomène alarmant de la perte de biodiversité. S'il existe une littérature abondante et parfois interdisciplinaire sur le réchauffement climatique et l'épuisement des ressources naturelles dans ces trois domaines disciplinaires, la question de la biodiversité, traditionnellement abordée par les écologues, n'a pas été suffisamment traitée par les économistes et les juristes : trop peu de travaux et de réflexions existent à l'interface des disciplines.

Le travail de réflexion mené par le conseil scientifique a permis de montrer l'intérêt à mettre en place une démarche interdisciplinaire et les difficultés qui y sont associées. En effet, cela nécessite de prendre le temps, non seulement celui de comprendre comment l'autre discipline

appréhende un objet, quelle terminologie, quels outils théoriques et opérationnels elle utilise, mais aussi le temps de transmettre sa propre démarche disciplinaire et de l'envisager dans une perspective commune. L'expérience montre que chaque discipline appréhende avec un point de vue spécifique un objet ; c'est ce que montre l'exercice de synthèse réalisé à l'issue de ce colloque en repositionnant le point de vue des écologues, celui des économistes et celui des juristes au regard de la biodiversité. Alors que les écologues et les économistes utilisent des outils communs « données, modèles, prévisions », leur objectif est différent : les écologues visent une biodiversité croissante et stabilisée tandis que les économistes maximisent le bien-être, sous des contraintes de coût, et attribuent ainsi une valeur économique. Dans le domaine du droit, en revanche, l'amélioration du bien-être passe par la production de principes, normes et décisions (tableau 1).

Tableau 1.
Diversité et croisement
des points de vue
sur la biodiversité ;
inspiré de la synthèse
d'Alexandra Aragão
(Oléron, 2013).

Discipline	Objectifs	Outils
Écologie	Biodiversité croissante ou stabilisée	Données, modèles, prévisions
Économie	Bien-être maximisé	Données, modèles, prévisions
Droit	Bien-être amélioré	Principes, normes, décisions



Dans la perspective de protéger la biodiversité, chaque discipline met en oeuvre un processus spécifique (tableau 2). Cela explique la difficulté de se comprendre et de mener une réflexion commune dès lors que les logiques de chacun ne sont pas connues, comprises et acceptées par tous.

Discipline	Objectif commun	Questionnements	Action
Écologie	Protection	Pourquoi/où ?	Expliquer
Économie		Comment/combien ?	Réguler
Droit		Comment/qui ?	Encadrer

Tableau 2 :
Diversité des processus
disciplinaires pour
protéger la biodiversité
inspiré de la synthèse
d'Alexandra Aragão
(Oléron, 2013)

Favoriser la complémentarité de ces différentes approches disciplinaires est par conséquent un réel défi auquel les chercheurs se sont prêtés et qui pose les bases d'une démarche à développer et à approfondir autour de différents objets.

Ce cahier de prospective du CNRS a pour vocation de partager les réflexions engagées à l'occasion des rencontres d'Oléron entre ces communautés. C'est une étape qui permet de poser les bases de démarches scientifiques visant à penser le futur dans une perspective interdisciplinaire au service d'un intérêt commun : celui de la biodiversité. C'est grâce à la forte implication des membres du comité scientifique et à la mobilisation d'une communauté se sentant concernée, que cette prospective voit le jour. Nous remercions chaleureusement tous les participants.

L'articulation du travail est progressive et témoigne du cheminement et de la richesse de la réflexion engagée par les scientifiques conquis par la démarche. Il faut d'abord s'entendre sur le sens des mots, comprendre la biodiversité et son utilité. Comprendre ensuite les conséquences de la perte de biodiversité, ses irréversibilités ou, a contrario, la résilience des écosystèmes et les effets sur les sociétés humaines, en termes de vulnérabilités et d'inégalités, soulevant la question de la justice environnementale. Enfin, les théorisations dont il est question nécessitent,

pour chacune des disciplines, à sa manière, une modélisation adéquate qui mobilise parfois les mathématiques et les applique aux questions posées par la biodiversité.

Le premier chapitre porte sur les valeurs et les services de la biodiversité. Faut-il parler d'une valeur intrinsèque (écologie) ou utilitariste (économie) de la biodiversité ? Quoiqu'il en soit, c'est parce qu'une valeur lui est reconnue que la diversité biologique représente un intérêt protégé par le droit. L'irréversibilité d'une perte de biodiversité est considérée au deuxième chapitre. Cette question renvoie à la notion transdisciplinaire de résilience, c'est-à-dire la capacité d'un écosystème dynamique de retrouver ses fonctions après un choc. La question de la résilience évoque celle des temps de réponse du système. La représentation des sociétés humaines, alors considérées comme l'une des parties du système, et le rôle sur le présent des anticipations sur le futur formées par les agents obligent alors les scientifiques à penser autrement la résilience. Le troisième chapitre montre la vulnérabilité de certains pays ou de certaines parties de la société suite à la perte de biodiversité. Cette perte fragilise les plus vulnérables et augmente les inégalités écologiques et économiques. Comment mettre en place une justice réparatrice et envisager une éventuelle redistribution des ressources ? Le dernier chapitre porte sur les émergences dans la modélisation. Les écologues, comme les économistes, appliquent les mathématiques ; cependant ces derniers insistent sur la rationalité des agents représentée à travers des comportements optimisateurs. Les juristes, quant à eux, mobilisent d'autres formes de théorisation et s'ouvrent progressivement à la modélisation.

L'intérêt scientifique manifesté lors de ces rencontres allant jusqu'à la réalisation de cet ouvrage montre l'importance des approches croisées et interdisciplinaires pour répondre aux enjeux liés à la perte de la biodiversité, réel défi de demain. Souhaitons que cette prospective en soit l'une des premières pierres.

Stefano Bosi

Directeur adjoint scientifique à l'Institut des sciences humaines et sociales du CNRS

Agathe Euzen

Déléguée scientifique en charge du développement durable
à l'Institut écologie et environnement du CNRS







VALEURS ET SERVICES DE LA BIODIVERSITÉ

Isabelle Doussan (coordinatrice), Denis Couvet, Jean-Michel Salles



I.1

Introduction

Le déclin supposé de la biodiversité amène les sociétés à s'interroger sur les valeurs qu'elles lui accordent et sur les actions à mener pour les incarner. Ces valeurs se fondent sur des intuitions, selon lesquelles il existe une hiérarchie de l'importance des actions et des choses, et des normes auxquelles les acteurs sociaux se réfèrent pour élaborer leurs jugements et leurs actions¹. La mobilisation des acteurs sur les questions liées à la biodiversité ou aux services écosystémiques dépend des enjeux qui y sont associés. Ils sont à l'interface entre les sciences humaines et sociales et les sciences de la nature, intégrant autant les mécanismes sociaux que biologiques.

Par conséquent, les sciences de la nature doivent préciser les entités biophysiques et les processus écologiques associés à la valeur intrinsèque de la diversité biologique et à l'importance sociale des services écosystémiques. L'importance des espèces menacées est bien représentée par cette valeur intrinsèque. A l'inverse, l'importance de la biodiversité générale, celle qui nous entoure, reste largement à préciser, que cette valeur soit de type intrinsèque ou instrumental, associée aux services écosystémiques. Il importe pour cela de resituer ces services par rapport aux entités identifiées par les écologues : populations, groupes fonctionnels, communautés, réseaux écologiques

1 - Il existe une littérature considérable et hétérogène sur la notion de valeur qu'il serait vain de prétendre résumer ici. La notion de rationalité axiologique, introduite par Max Weber dans sa conférence *Le savant et le politique* (1919), a permis de dépasser une vision instrumentale de la rationalité appliquée aux choix et notamment aux choix collectifs (Boudon, 1999).

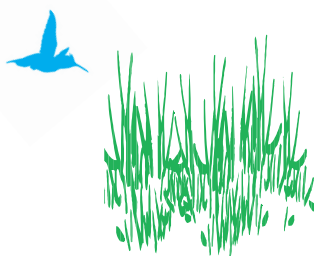


écosystèmes, paysages... Comment la valeur accordée à ces différents niveaux d'organisation biologique varie-t-elle selon les perspectives d'adaptation aux changements globaux ?

Les sciences humaines et sociales doivent préciser la relation entre les institutions et la formalisation des différents enjeux associés à la préservation de la biodiversité et spécifier, en retour, les effets de cette préservation sur la dynamique des institutions. Ainsi, la notion de service écosystémique pourrait institutionnaliser de nouvelles relations sociales, entre acteurs contribuant aux services écosystémiques et ceux en bénéficiant. Les mécanismes et les conséquences dépendent des options juridiques et économiques choisies. Les effets des instruments économiques dépendent du régime juridique et inversement,

les effets marchands influencent les évolutions juridiques. Les contextes politique, social et culturel devraient profondément influencer la formulation des problématiques. En d'autres termes, il en résulte un triptyque composé des entités écologiques, du régime juridique et de la régulation économique, lié par de fortes inter- et rétro-actions.

Il s'agit d'interroger la relation entre des initiatives de type juridique et économique et les outils proposés par les écologues qui sont des concepts et une métrologie de la biodiversité. L'ambition et la portée des politiques publiques en dépendent. La notion de science régulatrice (Jasanoff, 2005) précise l'importance de ces problématiques ; l'état des connaissances scientifiques détermine les possibilités de régulation. Inversement ces règles influencent les problématiques et les développements scientifiques.



I.2

Donner une/des valeurs à la biodiversité et aux services écosystémiques ?

Le préalable de la reconnaissance juridique

Le terme de valeur appliqué à la biodiversité est rarement utilisé en tant que tel dans les textes juridiques, alors même que sa reconnaissance est au cœur du droit de la protection de la biodiversité. En effet, dans le champ du droit, l'apparition de la notion de biodiversité et plus généralement des différentes composantes de l'environnement (milieux, espèces...) marque l'intérêt que les sociétés leur portent à un moment de leur histoire. Avant même l'existence d'un droit de l'environnement identifié comme tel, différents éléments naturels ont été appréhendés par le droit (sols, eaux, espèces, forêts...), essentiellement parce qu'ils présentent une utilité pour les sociétés humaines. En droit romain par exemple, ces éléments

sont situés dans l'ordre juridique par rapport au droit de propriété, privé ou public : le sol ainsi que les espèces végétales qui y croissent sont indiscutablement des objets de propriété (des « choses » appropriables). L'eau, selon sa nature (courante ou stagnante, douce ou salée par exemple), sera appropriable ou non (*res communes* par exemple). Les espèces animales, qu'elles soient domestiquées ou non, ont un statut différent (appropriées pour les premières, *res nullius* pour les secondes). En conséquence, le statut juridique de ces éléments naturels permet, ou non, qu'une valeur leur soit attribuée. Par exemple, le marché des terres peut exister dès lors qu'un droit de propriété est reconnu ; il permettra les échanges.

La prise de conscience morale, politique et sociale des menaces pesant sur l'environnement, datant des années 1960 pour les pays industrialisés, conduit à la mise en place de règles juridiques protectrices comme le droit de l'environnement. Les textes juridiques de cette période proclament souvent de manière explicite l'intérêt attribué à l'environnement dont la protection, la préservation et la restauration sont déclarées d'intérêt général (« intérêt fondamental de la Nation » dans la Charte constitutionnelle française de 2005). On pourrait dire que la valeur qui lui est reconnue en droit à partir de cette période est une valeur qui dépasse les intérêts et les droits individuels. Elle renvoie à une valeur que l'on peut dire intrinsèque : par exemple, la protection de certaines espèces animales et végétales est fondée sur leur vulnérabilité et le risque de leur disparition, sans référence à l'utilité économique, sociale ou écologique qu'elles peuvent présenter. Cette valeur peut aussi être instrumentale : par exemple, l'eau est protégée en premier lieu en raison de son utilité pour les êtres humains. La diversité biologique, les interactions entre les différentes composantes de l'environnement et les services écosystémiques existent actuellement en tant qu'objet de protection juridique sans pour autant qu'un statut juridique spécifique leur soit attribué et sans que les anciennes classifications en soient bouleversées. Autrement

dit, il s'agit d'un objet ou « centre d'intérêts », selon l'expression du juriste Gérard Farjat, auquel les sociétés reconnaissent une valeur.

La nature et l'importance de cette valeur peuvent faire l'objet d'indications dans les textes juridiques. Ainsi, en droit pénal, prévoir des sanctions privatives de liberté et/ou des sanctions financières en cas de non-respect des règles de protection constitue un indicateur de valeur non marchande (l'application de ces textes par les tribunaux constitue un autre indicateur). Les contraintes, plus ou moins fortes, imposées à telle ou telle activité (production, mise sur le marché, transport...) fournissent également des indicateurs sur la valeur attribuée aux éléments de l'environnement que l'on protège par l'instauration de ces règles. Pour prendre l'exemple du droit fiscal, l'instauration de taxes ou de redevances fondées sur le « coût » écologique de certaines activités, ou produits, fournit également des indications sur la valeur attribuée aux ressources naturelles. A l'inverse, on peut citer les aides publiques, les exonérations fiscales ou les avantages octroyés en raison d'impacts réduits ou de pratiques favorables à l'environnement. Ainsi, le droit permet de fournir un cadre pour que différentes valeurs puissent être attribuées à l'environnement et à la biodiversité. La nature et la mesure de ces valeurs seront données par différents acteurs, publics ou privés, via des marchés mais pas nécessairement.

La perspective écologique

Le déclin observé, ou prévu, de la biodiversité résulte de dynamiques majeures des sociétés qui sont au cœur de leurs activités économiques et sociales : artificialisation des milieux, fragmentation des paysages, réchauffement climatique, globalisation des échanges commerciaux, modes d'alimentation... Pour infléchir ces dynamiques, les politiques publiques de préservation de la biodiversité doivent nécessairement être ambitieuses, tant en termes de réglementations ou d'incitations que face à des tendances économiques et sociales majeures. Ces politiques doivent donc avoir des légitimités sociales fortes et convoquer l'ensemble des valeurs associées à la biodiversité. L'écologie, science des interactions, doit

permettre d'identifier les mécanismes d'interaction entre écosystèmes et sociétés déterminant la dynamique de la biodiversité. Les valeurs mises en jeu par des changements dans ces interactions doivent être envisagées de manière large, ne pouvant se limiter à la satisfaction matérielle liée à la fourniture de biens et services marchands, tout en mobilisant l'ensemble des « capacités » humaines. Les notions de valeur intrinsèque de la biodiversité et des services écosystémiques ont permis de recenser et de structurer ces valeurs et les enjeux associés au devenir de la biodiversité, ainsi que d'identifier les difficultés sociales associées à chaque valeur et aux multiples services (focus I.1).



La reconnaissance sociale des valeurs impliquées varie selon la biodiversité ou le service concerné. Les enjeux et les valeurs associés aux services d'approvisionnement, ainsi que certains services culturels (qualité des paysages, des espaces verts...) sont bien identifiés et largement pris en compte par les sociétés, le plus souvent par des mécanismes marchands. Cela est également le cas des entités biophysiques associées, par exemple les biens écosystémiques liés à l'agriculture et à la pêche.

A l'inverse, les valeurs associées aux services de régulation et de support restent largement à documenter par l'écologie. Elles suggèrent de nouveaux enjeux sociaux associés à la notion de bien commun et d'ordre collectif, et elles

sont peu intégrables à une logique marchande (Costanza *et al.*, 2014). Dans ce domaine, l'écologie scientifique a un rôle majeur à jouer pour identifier et quantifier l'importance de ces enjeux sociaux pour lesquels il faut trouver des outils de gestion adaptés. Il s'agit, par exemple, de documenter les dépendances entre socio-écosystèmes fournisseurs de services écosystémiques et socio-écosystèmes bénéficiaires, comme dans le cas de la purification de l'eau, liant les socio-écosystèmes amont et aval dans un bassin-versant. En d'autres termes, la téléconnexion entre socio-écosystèmes éloignés, expliquant les dynamiques locales et globales ainsi que leur couplage, est à revoir à la lumière des dépendances associées aux services de régulation.



FOCUS I.1

Une typologie des valeurs instrumentales de la biodiversité

Pour que l'évaluation soit pertinente, elle doit refléter l'ensemble des raisons qui justifient les efforts de conservation, d'où la notion de « valeur économique totale ». Progressivement développée depuis les années 1980, se voulant opérationnelle, elle distingue quatre types de valeurs :

- Les valeurs d'usage direct : elles mesurent l'intérêt de pouvoir prélever des ressources ou accéder aux milieux considérés.
- Les valeurs d'usage indirect : elles représentent les avantages que les populations retirent du fonctionnement des écosystèmes, notamment pour la régulation des aléas ou des services comme les flux hydriques ou la pollinisation.
- Les valeurs d'option : elles traduisent l'importance d'avoir des écosystèmes en bon état de fonctionnement pour préserver la possibilité d'usages futurs incertains.
- Les valeurs de non-usage : elles reflètent le constat que des populations qui ne retirent pas nécessairement d'avantages effectifs des écosystèmes, leur accordent de l'intérêt pour des motivations éthiques ou identitaires (altruisme envers d'autres communautés ou les générations futures ; reconnaissance d'un droit à l'existence à d'autres espèces ou à certains écosystèmes remarquables).

La notion de « valeur économique totale » a parfois suscité des réactions pour au moins deux raisons :

- Il semble difficile d'agréger dans un indicateur unique ces différentes valeurs qui reflètent des enjeux éthiques et sociaux hétérogènes, notamment parce que les différentes dimensions de la vie humaine ne sont pas forcément commensurables. La manière de combiner ces différentes valeurs reste donc une question ouverte.
- La valeur économique totale de la nature n'a aucun sens puisque sa destruction entraînerait la disparition des humains et donc, des évaluateurs. Il faut donc bien comprendre qu'il ne s'agit pas d'attribuer une valeur économique à la totalité de la nature, mais de prendre en compte tous les enjeux liés à une variation donnée de la disponibilité des biens naturels considérés. L'idée est d'intégrer dans l'évaluation des projets ou des politiques la totalité de leurs effets sur les écosystèmes dans un cadre de mesure unique autorisant la comparabilité avec les autres impacts économiques et sociaux (Costanza *et al.*, 2014).

L'analyse économique

Les économistes attribuent une valeur économique à la nature dès les années 1960 puis à la biodiversité et aux services écosystémiques. Donner une valeur suscite toujours un large débat : au sein de la communauté scientifique, partagée entre l'intérêt de développer des méthodes opérationnelles et les limites d'un cadre théorique difficiles à cerner ; auprès des décideurs politiques, désireux de justifier leurs choix mais incertains quant à la légitimité sociale de ces approches. Durant la dernière décennie, deux grandes initiatives internationales ont favorisé l'émergence d'un relatif consensus sur le concept et une nomenclature des services écosystémiques. Le *Millennium Ecosystem Assessment* (2005) a montré que les écosystèmes étaient majoritairement dégradés alors que les sociétés humaines en restaient largement dépendantes. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (Sukhdev, 2007) a, quant à lui, clarifié les relations entre le fonctionnement et la valeur des écosystèmes et proposé un bilan critique des méthodes d'évaluation. En France, plusieurs études ont été menées sur ce sujet, notamment à l'initiative du Ministère en charge de l'écologie (Chevassus-au-Louis *et al.*, 2009) et d'autres sont en cours². Ces actions sont le plus souvent motivées par des objectifs spécifiques ayant plusieurs traits communs : justifier des arbitrages politiques entre la conservation de la nature et le développement économique, clarifier les enjeux liés à la conservation ou à la destruction de certains écosystèmes, disposer d'une approche quantifiée mettant en évidence l'importance de ces enjeux afin d'avoir la possibilité de les confronter à d'autres éléments qui concourent au bien-être social.

Évaluation économique de la nature : de quoi s'agit-il ?

Présente dans la pensée économique depuis l'Antiquité, notamment du fait de l'importance de la production agricole, la nature a été marginalisée par l'analyse économique du 20^e siècle : la plupart des macro-économistes considèrent que la nature ne contribue qu'à la production de 2 à 3 % des richesses (agriculture, forêts, pêches...) ; les micro-économistes l'ont, le plus souvent, réduite à un simple effet externe à intégrer dans l'évaluation économique pour

améliorer l'analyse coûts-avantages des projets, sans réelle réflexion sur les enjeux spécifiques. La question de la valeur de la nature est ainsi apparue dans les années 1960 comme une question nouvelle. Certains économistes considèrent d'ailleurs que, si la nature est porteuse de valeurs dans toutes les sociétés (spirituelle, symbolique...), c'est la créativité humaine qui donne une valeur économique aux « ressources naturelles ».

En effet, l'évaluation économique traduit la contribution des biens naturels et des choix qui les affectent au bien-être collectif, à travers une conception de la valeur qui est :

- Anthropocentrée : seul le point de vue des humains est pris en compte.
- Instrumentale : l'intérêt apporté aux choses est fonction de leur contribution à des fins exogènes.
- Conséquentialiste : la valeur des choix est mesurée en fonction de leurs résultats et non de leur conformité à des principes éthiques ou aux préférences du décideur.
- Utilitariste : l'appréciation des conséquences est un « arithmétique des plaisirs et des peines » basée sur leur somme et non sur leur distribution.
- Marginaliste : les économistes ont très largement renoncé à mesurer les utilités pour centrer l'analyse sur les variations « à la marge » permettant de comparer les options de choix.
- Subjective : dans la logique qui précède, ne peut avoir de valeur que ce à quoi les humains portent un intérêt. La valeur dépend donc de leur compréhension des enjeux, ce qui soulève de sérieux problèmes lorsque l'évaluation porte sur des services dont l'importance n'est pas évidente.

L'évaluation économique crée entre les services une relation d'équivalence qui dépend de leur utilité et de leur rareté et donc, de leur caractère plus ou moins substituable. La valeur des choses est ainsi définie par leur « utilité marginale », c'est-à-dire par la contribution au bien-être collectif de chaque unité rendue disponible par les choix individuels ou collectifs. Cette utilité peut se décliner comme une série d'intérêts (les différents « services écosystémiques ») que l'évaluation permet d'agréger, à moins que la méthode ne passe par une appréciation globale *a priori*. Ce cadre d'analyse ne

2 - On doit mentionner en particulier la démarche de l'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE).



s'applique pas aisément à une nature considérée comme unique et irremplaçable.

Les enjeux d'une évaluation économique de la nature

Malgré l'importance des écosystèmes pour nos sociétés, la plupart des raisons qui fondent leur valeur ne sont pas spontanément prises en compte par les mécanismes marchands : ils ne font généralement pas l'objet de droits susceptibles d'être échangés sur des marchés (focus I.1).

L'intérêt d'évaluer économiquement la nature vise à répondre à un double enjeu : d'une part, prendre en compte cette nature dans les choix collectifs et les politiques publiques de façon mieux argumentée, d'autre part, mettre en œuvre, lorsque cela est possible, des mécanismes facilitant une prise en compte de la nature dans les choix et les comportements individuels, à travers les instruments économiques que sont la fiscalité, la définition de droits échangeables ou des contrats, parfois réunis sous la qualification de « paiements pour services écosystémiques ».

Évaluation économique de la biodiversité : comment ?

La « nature » ou la « biodiversité » sont des objets abstraits. En pratique, les évaluations portent sur des enjeux concrets, relatifs aux impacts de projets de développement ou à des actions de protection, notamment pour les espèces menacées et les milieux protégés.

Deux siècles après les débuts de la révolution industrielle, la prise de conscience de la dépendance de nos sociétés et de nos économies actuelles, vis-à-vis du fonctionnement des écosystèmes, a conduit à une focalisation sur la notion de « services écosystémiques », définis comme les avantages que les populations retirent du fonctionnement des écosystèmes. Malgré l'importance des travaux actuels, la définition et la quantification des services rendus par la nature restent des sujets de controverses.

Une question récurrente est de savoir s'il vaut mieux des évaluations, certes très imparfaites, que pas d'évaluation du tout. Cela dépend *a priori* des situations et des contextes institutionnels. Mais cette interrogation implique d'envisager des alternatives. L'absence d'évaluation explicite ne peut que favoriser des pratiques consistant à décider en fonction de raisons circonstancielles ou démagogiques ou, au mieux, de faire confiance aux experts et aux objectifs qui leur ont été soumis. Tous les éléments de clarification et d'explicitation semblent donc bons à prendre et, si possible, à rendre publics pour renforcer l'efficacité et la légitimité des choix collectifs.

Le débat sur la légitimité de l'évaluation serait vain si des méthodes n'avaient pas été progressivement développées pour obtenir des mesures concrètes. Ces techniques impliquent toutes un recueil d'informations quantitatives sur les enjeux perçus. On les classe d'ailleurs généralement sur la base du type d'informations qu'elles traitent. L'évaluation peut ainsi se fonder sur :



Une vallée alpine :
exemple d'écosystème
de montagne

- Des coûts observables lorsque les écosystèmes sont dégradés (impact négatif sur des activités récréatives ou le tourisme, pertes de production liées au déclin des insectes pollinisateurs...) ou pour suppléer à des services défaillants (coût accru de traitement des eaux, protection de berges déboisées...).

- L'observation de comportements visant à bénéficier de certains services liés à des écosystèmes (coûts de déplacement pour des activités de nature ; variations des prix du foncier liées à la qualité de l'environnement ou des paysages...).

- Des déclarations recueillies par des enquêtes portant sur les consentements à payer pour bénéficier de certains services ou sur des choix hypothétiques qui mettent en jeu les écosystèmes.

Un problème central est que certains enjeux sont peu ou mal identifiés ou mal compris, même par les personnes directement concernées. Les comportements observables ne peuvent donc que refléter ces biais de perception et, dans les enquêtes, il faut apporter de l'information, tout en évitant d'influencer les personnes interrogées. L'évaluation économique rencontre une difficulté particulière qui a souvent conduit à se tourner vers des approches moins sensibles à la subjectivité des personnes. Cela est notamment le cas des analyses multicritères qui permettent de porter un jugement comparatif sur des projets hétérogènes en séparant les différentes dimensions de leurs enjeux, ou des indicateurs bio-physiques comme l'empreinte écologique ;

celle-ci mesure la pression des situations ou des choix par le nombre d'hectares d'écosystèmes nécessaires pour absorber leurs différents impacts. Cependant, ces approches n'intègrent pas le passage de l'analyse à la prescription. Leur résultat doit être confronté à un système de valeur exogène : quel est le poids relatif des critères ? Un niveau donné d'empreinte est-il socialement ou politiquement souhaitable ?

Évaluation économique : pour quoi faire ?

De façon générale, les évaluations sont mises en œuvre pour motiver, justifier et raisonner l'action collective (notamment des administrations publiques) afin de :

- Définir la forme des stratégies de conservation et en éclairer les priorités dans une perspective coût-efficacité qui vise à éclairer la question : où un euro investi dans la conservation est-il le mieux employé ?
- Fixer le niveau d'effort consenti pour la conservation, notamment du point de vue de ce qu'il implique de sacrifier. Est-il plus pertinent de détruire tels écosystèmes ou de renoncer à tel projet qui les menace ?
- Intégrer la biodiversité et les écosystèmes dans les évaluations de projets ou de politiques (notamment publics) à parité avec les autres enjeux de société.
- Communiquer, en amont, sur l'ordre de grandeur des enjeux globaux en montrant leur importance et envisager des stratégies plus ambitieuses.

Un dernier point important concerne la forme de l'action collective qui dépend du niveau



de biodiversité considéré : écosystèmes, espèces, variabilité intra-spécifique ou génétique... Dans certains cas, l'action publique peut être directe (création d'espaces protégés, financement de collections ou de banques de gènes). Dans d'autres cas, elle doit être indirecte, en créant des incitations pour que les agents privés (entreprises, ménages, ONG) prennent en compte dans leurs décisions les enjeux collectifs liés à la biodiversité. Il

s'agit ici de politiques publiques et il convient d'insister sur le fait que, à côté de la réflexion sur les instruments de politiques les plus adaptés pour favoriser la prise en compte de la biodiversité dans les choix individuels et collectifs, il est nécessaire d'identifier et de corriger aussi les effets négatifs sur la biodiversité des politiques publiques menées dans d'autres domaines (agriculture, forêts, commerce, transports...).



I.3

Les limites actuelles

Entités de la biodiversité

Il est important de préciser les entités biophysiques et les processus associés aux valeurs intrinsèque et instrumentale, de la biodiversité aux services écosystémiques. Ainsi la relation entre biodiversité et service écosystémique demande à être précisée, pour chaque type de service, distinguant entités biophysiques, fonction et services écosystémiques, et bénéfices (Fisher *et al.*, 2009).

Les entités biophysiques doivent être définies par rapport aux niveaux d'organisation biologiques : populations, espèces, groupes fonctionnels, communautés, réseaux écologiques, écosystèmes, paysages... Elles doivent être pertinentes à la lumière des mécanismes intervenant dans le domaine des sciences écologiques, de la résilience des écosystèmes, de la dynamique des réseaux écologiques et des processus évolutifs. La valeur accordée à ces différentes entités, à leurs niveaux d'organisation biologique, change-t-elle lorsque l'on se place dans une perspective dynamique

de nécessaire adaptation aux changements globaux ? La notion d'*evosystem services*, intégrant la capacité d'adaptation des fonctions écologiques, notamment aux changements globaux, pourrait permettre de mieux intégrer le rôle de la diversité biologique au sein des services écosystémiques (Faith *et al.*, 2010).

Il convient ainsi de s'interroger non seulement sur la relation existant entre fonctions et diversité biologique, mais aussi aux différents niveaux d'organisation génétique, spécifique et écosystémique, ainsi qu'à la pertinence des relations entre les diversités spécifiques, fonctionnelles et phylogénétiques. Ces entités doivent aussi être intelligibles pour les acteurs sociaux. La pertinence des choix des entités biophysiques dépend également des objectifs sociaux qui sont notamment de légitimer la préservation d'espèces menacées, d'établir une comptabilité nationale, d'élaborer des paiements pour services écosystémiques, ou de construire et de légitimer la compensation écologique.

Construire des préférences pour des biens et des services mal appréhendés

L'évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques vise à éclairer les arbitrages que la société fait et ne peut éviter de faire entre différentes options de gestion des écosystèmes. Pour cela, et afin de maintenir la cohérence des choix dans ce domaine avec un cadre conceptuel tourné vers l'identification et la mise en œuvre d'une gestion socialement efficace de ressources à « usage alternatif », la notion économique de valeur s'appuie sur les préférences des agents. Les valeurs ne peuvent que refléter ces préférences. Cela permet d'éviter une logique « dictatoriale », fusse celle d'un « dictateur éclairé », mais

conduit, comme le vote au suffrage universel, à ne pouvoir aisément échapper à la dictature de l'opinion. Cette limite importante fait l'objet de multiples propositions, depuis les tentatives d'apporter de l'information aux agents pendant le processus d'évaluation, jusqu'à la tentative de renoncer à une approche en termes de valeur pour se replier sur une démarche de coût-efficacité (qui se limite à caractériser comment atteindre au moindre coût un objectif plus ou moins arbitraire). Cette dernière logique est celle qui préside aux objectifs de *no net loss* promulgués aujourd'hui aux niveaux européen et international.

Un droit fragmenté et statique

La diversité biologique, dans ses différentes dimensions, est incontestablement un objet de protection juridique en droit international, ou en droit de l'Union européenne et en droit français par exemple. Pour autant, cela ne doit pas conduire à masquer les très grandes difficultés techniques à organiser cette protection par des règles juridiques précises. Il semble que le droit de l'environnement souffre ici d'une fragmentation qui se révèle souvent peu compatible avec l'appréhension de la biodiversité. Les règles juridiques de protection sont en effet particulièrement cloisonnées, compartimentées, parfois selon des critères écologiques (droit de l'eau, des zones humides, des espèces et espaces protégés, par exemple), mais le plus souvent selon des considérations ou des clivages institutionnels, économiques, techniques, historiques (droit des installations classées, droit des déchets, droit des produits phytopharmaceutiques, droit des OGM...). Le droit de l'eau est, à cet égard, un bon exemple ; sa fragmentation nuit souvent à la lisibilité même du droit et, par conséquent, à l'effectivité et l'efficacité des règles de protection. L'appréhension juridique de la biodiversité présente les mêmes caractéristiques, davantage marquées encore. En effet, la protection juridique de la biodiversité se traduit par une grande diversité de règles : protection de certaines espèces vulnérables (Natura 2000, parcs nationaux, règles de police interdisant que des atteintes particulières leur soient

portées...), ou encore réglementation de certaines activités et produits (OGM, produits phytosanitaires, urbanisme...) façon « mille-feuilles » et ce, sans qu'une réelle mise en cohérence de ces règles soit toujours pensée et mise en œuvre.

A cette fragmentation des règles juridiques s'ajoutent des difficultés à saisir la dimension évolutive, la dynamique de la biodiversité et des écosystèmes qui constituent un véritable défi pour le droit. Il existe en effet une véritable difficulté à concilier et à articuler le besoin de sécurité juridique, qui plaide pour des règles stables dans le temps et l'espace, les frontières institutionnelles (Etats, collectivités territoriales), qui commandent des compétences distinctes, avec la prise en compte des données écologiques changeantes selon les contextes spatio-temporels. L'intégration des notions de services et de fonctions des écosystèmes en droit illustre ces difficultés.

La référence la plus ancienne aux fonctions d'un écosystème est faite à propos des zones humides, protégées depuis 1971 par la Convention de Ramsar en tant que « régulateur du régime des eaux et en tant qu'habitats d'une flore et d'une faune sauvage ». En droit français et de l'Union européenne on trouve également des références aux fonctions écologiques de la forêt et une proposition de directive sur les sols qui prend en compte les « fonctions écologiques, économiques, sociales et culturelles » du sol.



La directive 2004/35 sur la responsabilité environnementale (et ses textes de transposition dans les Etats membres) est le texte le plus abouti actuellement puisque les termes de fonctions et services écologiques apparaissent dans la définition même du dommage à l'environnement. Au sens de ces textes, le dommage à l'environnement s'entend comme « une modification négative mesurable d'une ressource naturelle ou une détérioration mesurable d'un service lié à des ressources naturelles ». Le service est défini comme « les fonctions assurées par une ressource naturelle au bénéfice d'une autre ressource naturelle ou du public ». Le projet de loi relatif à la biodiversité prévoit l'ajout de « la sauvegarde des services » fournis par la biodiversité aux objectifs de la politique de protection de l'environnement, les qualifiant ainsi « d'intérêt général » ; par ailleurs, ce même texte ajoute que lorsque des atteintes n'ont pu être évitées ou réduites, elles doivent être compensées « en tenant compte des (...) services et fonctions écosystémiques affectés » (art. L 110-1 figurant dans la partie du Code de l'environnement relatif aux « principes généraux »)³.

Actuellement, non seulement un certain flou sémantique entoure les notions de services (écosystémiques, écologiques, environnementaux) et de fonctions, mais les textes juridiques

ne fournissent pas beaucoup d'éléments d'analyse sur les services écosystémiques en rapport avec la valeur qui peut leur être attribuée. Sauf à dire que leur introduction dans le champ du droit marque, comme cela a déjà été dit pour l'environnement et la biodiversité, leur naissance en tant qu'objet de protection juridique et leur reconnaissance en tant qu'intérêt ou plutôt centre d'intérêts général, collectif et individuel. Par ailleurs, il faut noter un regard souvent critique de la part des sciences humaines et sociales, dont le droit, sur cette notion qui est souvent vue comme relevant d'une vision exclusivement utilitariste de l'environnement. Cela pourrait à terme marginaliser, voire exclure, la protection de l'environnement et de la biodiversité en tant qu'éléments présentant une valeur intrinsèque, indépendamment de l'utilité qu'on leur reconnaît ou qu'on leur connaît.



3 - Dans l'exposé des motifs, il est indiqué que l'article 1^{er} de ce projet « a pour objectif de renouveler les concepts et le vocabulaire présents au début du Code de l'environnement pour en conforter la portée au regard des nouvelles connaissances et des évolutions sociétales. Il s'agit ici de donner une vision complète de la biodiversité, intégrant l'ensemble des êtres vivants, et d'en donner une vision moins figée et mettant en avant son caractère dynamique. L'article conforte l'importance de cette dynamique, dans un contexte de changement global, où la disparition des services rendus par la biodiversité (alimentation, énergie, atténuation de phénomènes naturels...) est susceptible de porter atteinte aux activités humaines et où la capacité d'évolution des écosystèmes est essentielle à leur fonctionnement ».

Indicateurs de biodiversité : enjeux sociaux

Pour de nombreuses questions environnementales, relatives à la qualité de l'eau ou au climat par exemple, la métrologie des variables d'interaction fait largement consensus, mesurant entre autres les quantités de gaz à effet de serre. A l'inverse, une métrologie de la biodiversité, appropriable par les parties prenantes et les régulateurs, reste à développer. C'est une condition essentielle pour que la biodiversité soit prise en compte par les politiques publiques, pour fixer des objectifs collectifs, contractualiser les relations entre acteurs et développer des indicateurs (focus I.2).

Cette métrologie devrait intégrer la diversité des échelles spatiales (locale, nationale, voire mondiale) et temporelles (court ou long terme) spécifiques aux secteurs d'activité pris en compte. En réduisant les coûts de transaction entre acteurs, ces progrès métrologiques

doivent aider la construction des politiques publiques et l'adaptation des acteurs.

Cette métrologie est largement avancée dans le cas des espèces menacées et s'appuie notamment sur la notion de statut de conservation. Cette métrique des espèces menacées permet de cartographier des points chauds (*hotspots*) de biodiversité, riches en espèces menacées, où des espaces protégés devraient être établis en priorité. Elle permet aussi d'évaluer les impacts relatifs au commerce international et aux activités domestiques (Lenzen *et al.*, 2012). A l'inverse, cette métrologie reste à développer dans le cas de la biodiversité ordinaire ou des services écosystémiques. Il s'agit en fait de rendre mesurable et objective la notion de bon état de la biodiversité, des écosystèmes, des habitats et des services qui font que les acteurs leur accordent une valeur.



FOCUS I.2

Diversité des indicateurs : le rôle social

Les indicateurs de biodiversité quantifient son état sous une forme compréhensible pour l'ensemble des parties prenantes, afin de permettre la négociation sociale.

On peut distinguer différents indicateurs : indicateurs d'impact, d'état du système et d'efficience des activités humaines utilisant la biodiversité (Kuemmerle *et al.*, 2013). Ces trois indicateurs sont complémentaires. Les premiers permettent l'identification des problématiques environnementales, la définition d'objectifs collectifs et la construction des politiques publiques. Les seconds concernent le diagnostic écologique et social. Enfin, les troisièmes visent l'évaluation de l'efficacité et de la pertinence des politiques publiques et les effets des outils économiques et /ou juridiques, leur appropriation par les acteurs, les enjeux de la négociation sociale, la contractualisation entre acteurs, et permettent aussi l'arbitrage des consommateurs. Les recherches tant dans les sciences de l'écologie qu'en sciences humaines et sociales sur les valeurs de la biodiversité et des services écosystémiques doivent permettre d'affiner et d'enrichir ces indicateurs. Enfin, la mise en forme de l'information à travers les indicateurs demande à être utilisée dans la construction de scénarios. Alors que les informations apportées par les indicateurs évaluent les effets des politiques passées, les scénarios intégrant le devenir des indicateurs comparent les politiques à venir.



Perspectives pour des analyses économiques contextuelles

Les écosystèmes et la biodiversité sont porteurs de valeurs dans nos sociétés pour un ensemble complexe de raisons qu'il est pertinent d'exprimer en termes économiques, car leur conservation entraîne des coûts qui sont dénoncés par ceux qui craignent de devoir les supporter. L'évaluation à partir des services retirés du bon fonctionnement des écosystèmes apparaît comme la plus cohérente avec les principes de l'analyse économique, mais elle soulève de légitimes inquiétudes : une focalisation sur les services finaux pourrait faire oublier la complexité des processus qui permettent aux sociétés d'en bénéficier ; certains services, notamment ceux dits « culturels », difficilement quantifiables ou monétisables, risquent d'être marginalisés, biaisant ainsi les évaluations qui ne refléteraient plus la balance des intérêts en jeu.

Le développement économique et la croissance démographique renforcent les enjeux de rareté et entraînent une multiplication des situations d'arbitrage entre des intérêts sociaux, économiques et environnementaux complexes : on ne peut et ne pourra les éviter. Dans cette perspective, l'évaluation économique des services rendus par les écosystèmes et la biodiversité peut contribuer à permettre des choix plus efficaces et plus équitables. Elle est donc appelée à se développer si les économistes, en interagissant avec les spécialistes d'autres disciplines et les parties prenantes, savent en améliorer la fiabilité, clarifier les inter- et les rétro-actions entre fonctionnement des écosystèmes et processus socio-économiques, savent prendre en compte la diversité des valeurs des individus et de la biodiversité, et en renforcer ainsi la légitimité sociale et politique.

Une approche juridique fonctionnelle et dynamique

On comprend que les questions de recherche formulées par les juristes s'articulent autour des points identifiés comme problématiques. En premier lieu, la protection juridique de l'environnement souffre d'une certaine ineffectivité, dont une part réside dans des freins et obstacles tenant au système juridique lui-même. Il en est ainsi du statut de l'environnement et de la biodiversité en droit, dont on perçoit que la catégorie de « chose » ou de bien susceptible d'une appropriation privée ou publique ne rend pas compte de toutes ses dimensions, humaine et non-humaine, économique et morale notamment. La fragmentation excessive des éléments de l'environnement interroge également les juristes : comment traduire en droit une approche plus dynamique de l'environnement tout en assurant une sécurité juridique suffisante ? La « marchandisation » de l'environnement et de la biodiversité amène des questions de recherche sur la délimitation de ces nouveaux marchés et leurs modes et instances de régula-

tion. Les services écosystémiques, écologiques ou environnementaux constituent un bon objet d'étude qui devrait mobiliser davantage les juristes. Leur introduction dans le champ du droit est-elle de nature à modifier les modes de gestion et de conservation de l'environnement ou encore à investir de nouveaux acteurs d'une mission d'intérêt général, dès lors qu'ils sont en mesure de maintenir ou de fournir de tels services (par exemple les agriculteurs) ? Quels droits peuvent être reconnus sur ces services (propriété, usage, nouvelles formes de droits simultanés...) ?

Si certaines de ces questions relèvent d'une réflexion monodisciplinaire, la plupart impliquent des travaux pluridisciplinaires. La définition et la mesure des valeurs de la biodiversité doivent faire appel aux sciences du vivant, aux sciences économiques, sociales ou encore philosophiques. Le droit offre un espace de réflexion et de décision privilégié pour faire advenir ces valeurs et les moyens de leur protection.





II

RÉSILIENCE, IRRÉVERSIBILITÉS
ET INCERTITUDES

Nathalie Hervé-Fournereau (coordinatrice), Jean-Pierre Amigues,
Philippe Billet, Wolfgang Cramer, Emilie Gaillard, Gilles Pinay



II.1

Introduction

Confrontés à l'incapacité de la communauté internationale d'enrayer le déclin de la biodiversité lors de la conférence de Nagoya en 2010, les pouvoirs publics reconnaissent l'urgence d'une vision plus dynamique de la gestion des écosystèmes. La stratégie française sur la biodiversité promeut ce renouvellement conceptuel reflétant l'évolution des connaissances scientifiques. L'importance de « maintenir, voire de renforcer la résilience et la fonctionnalité des écosystèmes afin de préserver les processus évolutifs nécessaires à leur adaptation et au maintien de la biodiversité »⁴ est soulignée. Le projet de loi sur la biodiversité propose d'intégrer les processus biologiques et la géodiversité parmi les constituants du

patrimoine commun de la Nation⁵. Elle suggère d'inclure, parmi les objectifs d'intérêt général de protection et de gestion de ce patrimoine, la « connaissance, la préservation de la capacité à évoluer et la sauvegarde des services qu'ils fournissent »⁶. Si le terme de résilience n'apparaît pas explicitement, la capacité d'évolution des écosystèmes est mise en avant comme essentielle à leur fonctionnement. Sans revenir sur la généalogie du concept de résilience devenu transdisciplinaire, il caractérise, en écologie, la capacité d'un écosystème à recouvrer ses fonctions et sa dynamique existant avant une perturbation qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique. Transposée dans la sphère politique, la Commission européenne

4 - Stratégie pour la biodiversité 2011-2020 (Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2011).

5 - Article 2 du projet de loi sur la biodiversité, mai 2014, qui ne définit pas ces termes.

6 - Article 2 du projet de loi sur la biodiversité, mai 2014.



la définit comme la « capacité d'une personne physique, d'un ménage, d'une communauté, d'un pays ou d'une région à résister, à s'adapter et à récupérer rapidement à la suite de crises ou de chocs »⁷.

A l'instar des services écosystémiques⁸, le concept de résilience interpelle *crescendo* la communauté scientifique⁹ et s'infiltré dans de nombreux discours politiques et des stratégies d'actions relatives au changement climatique, aux catastrophes, à l'aide au développement et à la sécurité alimentaire. De là, faut-il considérer la résilience comme le fil d'Ariane d'un changement de paradigme dans le domaine de la biodiversité ? La tentation est grande de se limiter à un simple changement de vocabulaire sans en expliciter clairement les implications. Le rapport du groupe de l'ONU sur la viabilité mondiale, *Pour l'avenir des hommes : choisir la résilience !*¹⁰, démontre la force d'attractivité de tels concepts parés d'une forte positivité. Si la résilience est hissée au rang d'objectif prioritaire au service d'un « avenir durable », il importe d'approfondir les connaissances scientifiques concernant les capacités de réponse

des écosystèmes et des sociétés aux changements globaux. En l'occurrence, les recherches actuelles révèlent plusieurs zones d'ombres et verrous scientifiques qui contrarient *in fine* la compréhension du fonctionnement des écosystèmes et de leurs interactions avec les systèmes sociaux. La rencontre d'Oléron a offert l'opportunité de contribuer à une réflexion prospective en confrontant les concepts et les méthodes mobilisés en écologie, en droit et en économie pour étudier la résilience de ces systèmes dynamiques complexes ancrés dans des contextes d'incertitude et d'irréversibilité. A l'aune des débats sur l'utilité, le bon usage du concept de résilience et l'horizon des recherches sur ce sujet, trois problématiques ont été privilégiées. Dans un premier temps, le défi de l'évaluation des points de basculement des systèmes écologiques et sociaux est interrogé. Il est ensuite question de la détermination aléatoire des temps de réponse des systèmes écologiques et sociaux. Enfin, la troisième partie porte sur la recherche des capacités d'adaptation des systèmes socio-écologiques, entre nécessité et sérendipité.

Les incendies de forêt (accidentels ou criminels), la pratique de la culture sur brûlis, le défrichement des terres au profit de l'agriculture et de l'exploitation industrielle sont les raisons essentielles de la déforestation comme dans la « Région des baobabs » au sein de la réserve de Kirindy à Madagascar.

7 - Communication de la Commission sur l'approche de l'UE sur la résilience : tirer les leçons des crises de sécurité alimentaire (COM 586, 2012).

8 - Plusieurs dispositifs du CNRS soutiennent les réflexions interdisciplinaires sur ce concept comme le Réseau thématique pluridisciplinaire BIODISCEE (2012-2015) ou les Projets exploratoires premier soutien *Economie et droit de la biodiversité* (2012).

9 - A l'image des réseaux de chercheurs, tel celui de la *ResilienceAlliance*.

10 - Rapport du groupe sur la viabilité mondiale, Assemblée générale de l'ONU du 1^{er} mars 2012 (A/66/700).

Le défi de l'évaluation des points de basculement des systèmes écologiques et sociaux

Le débat actuel sur les changements globaux se focalise de plus en plus sur deux aspects importants du système socio-écologique global : les rétroactions entre l'activité humaine et la nature¹¹ et les risques de rupture du système autour de *tipping points*, ou points de rupture (Lenton *et al.*, 2008), faisant entrer le système dans un nouvel état quasi-stable, sans possibilité de retour aux conditions antérieures. Le récent programme-cadre de recherche Horizon 2020 de l'Union européenne insiste

justement sur le caractère vital d'anticiper ces changements potentiellement irréversibles et invite à « mieux comprendre les interactions complexes entre les ressources naturelles et les systèmes écologiques et sociaux et notamment les points de basculement environnementaux »¹². Le concept de résilience questionne ainsi plusieurs aspects structurels et fonctionnels des écosystèmes qui sont encore très mal connus, à savoir l'appréhension de l'unicité des systèmes et la connaissance de leurs dynamiques.

L'appréhension de l'unicité des systèmes écologiques et la connaissance de leurs dynamiques

Les écosystèmes sont des systèmes complexes qui résultent d'interactions constantes entre ses constituants biotiques et abiotiques. Chaque écosystème est un système unique ayant sa dynamique propre résultant de son contexte géologique, pédologique et climatique ainsi que des contraintes environnementale naturelles (climatiques) et/ou anthropiques passées et présentes qu'il subit. Cette unicité propre à chaque écosystème au niveau local, ne les empêche pas d'obéir à des règles de fonctionnement communes (cycles de la matière, processus biogéochimiques notamment) avec des écosystèmes partageant les mêmes caractéristiques générales (géologie, climat, sol, végétation, faune). Si ces règles communes de fonctionnement sont maintenant relativement bien connues pour chaque grand type d'écosystèmes, l'unicité de chaque entité écosystémique reste un défi quand il s'agit de prédire son évolution avec ou sans contraintes, ou d'évaluer ses capacités intrinsèques à produire des ressources, recycler ou réguler des flux de matières ou d'énergie (services écosystémiques). Ainsi, l'unicité des écosystèmes offre une large place à la variabilité, peu prédictible. Cette unicité et la variabilité des capacités fonctionnelles qui en résultent questionnent, par exemple, le fondement du « mécanisme » de compensation écologique.

La notion de « conditions climatiques » a longtemps prévalu dans la communauté des écologues. Cette notion postulait que les écosystèmes tendent naturellement vers une condition d'équilibre. Elle a donné lieu, par exemple, à la réalisation de cartes de végétation à l'échelle de la France. Cette notion est maintenant rejetée et il est largement admis que les écosystèmes sont en constante évolution. Cependant, bon nombre d'actions de protection et/ou de restauration sont encore menées de nos jours pour tenter de maintenir en l'état tel ou tel type d'écosystème, d'habitat, voire d'espèces emblématiques ou communautés d'espèces. Ces actions relèvent plus d'une démarche de type « zoo » ou « jardinage », nécessitant souvent de lourds investissements en infrastructures, pour parvenir à maintenir un *statu quo*. La compréhension de la dynamique des écosystèmes passe par des suivis sur le long terme, à ce jour peu nombreux, compte tenu de leur coût et de la diversité des systèmes à étudier. De plus, même quand ces suivis existent, ils ne sont effectifs que depuis relativement peu de temps. Par exemple, les plus longues chroniques de qualité des eaux de surface n'ont guère plus de cent ans (sur la Tamise) et les relevés botaniques systématiques ou les évaluations de biodiversité

11 - Par exemple, les émissions de gaz à effet de serre résultant de la destruction des forêts tropicales accentuent le réchauffement et provoquent la perte de forêts ailleurs.

12 - Décision du Conseil européen du 3 décembre 2013 (2013/743/UE) établissant le programme spécifique d'exécution du programme-cadre pour la recherche et l'innovation (2014-2020), Journal officiel de l'Union européenne (JOUE) L 347 du 20 décembre 2013, p. 965.



animale ne remontent pas plus loin dans le passé. Elles fournissent néanmoins un regard utile pour apprécier les tendances au-delà du « bruit de fond » généré par les variations naturelles des variables mesurées. L'obtention de chroniques plus longues (plusieurs centaines à plusieurs milliers d'années) nécessite l'utilisation d'archives telles que les carottes de sédiments, de sols ou de glace, les analyses dendrologiques, les charbons de bois, les pollens ou les tests de diatomées par exemple. L'information recueillie ne renseigne que partiellement sur la dynamique passée des systèmes et pose comme postulat de départ que les espèces passées ont vécu sous les mêmes conditions environnementales que les espèces actuelles, ce qui peut être sujet à caution si les espèces passées étudiées n'existent plus aujourd'hui. Par ailleurs, ces dynamiques passées ne nous informent pas, ou très peu, sur les dynamiques à venir.

Enfin, une complexité majeure dans la compréhension des conditions écologiques futures vient de la possibilité pour certains systèmes de subir des bifurcations. A titre d'exemple, citons l'analyse des changements environnementaux en Arctique. La réduction des enneigements intéresse non seulement le changement de l'écosystème terrestre, tel que la dégradation du permafrost ou la plus haute fréquence des incendies pendant le printemps, mais aussi les rétroactions climatiques dues à la réduction de l'albédo pendant la période hivernale. Cette

rétroaction change davantage les conditions de vie des plantes et des animaux et modifie potentiellement la migration des nutriments de la mer à la terre à travers l'action des oiseaux marins. A cette hauteur de la cascade de changements biologiques, les méthodes courantes permettent seulement d'établir un certain niveau de risque de perdre des éléments essentiels de l'écosystème avec des conséquences sur les activités humaines comme la pêche ou le tourisme. Les temps et la gravité du basculement peuvent être estimés approximativement. Cependant, il est indispensable de mieux comprendre ces phénomènes non-linéaires. L'intérêt public et politique pour ces questions est fort comme le témoignent l'activité et la communication des interfaces entre science et politique telles que l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) et l'*Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES). Il est souvent avancé que les systèmes sociaux diffèrent profondément des systèmes écologiques parce que composés d'humains conscients et donc à même de les gérer et de les piloter. Sans s'appesantir excessivement sur cette prétendue capacité supérieure des êtres humains à contrôler son environnement social, il convient de souligner l'importance de l'information dans la régulation d'un système et de s'interroger sur les méthodes économiques aptes à appréhender ces multiples phénomènes dynamiques complexes. A cet égard, avoir une compréhension écologique de ces processus critiques devient un enjeu sociétal majeur.

L'appréhension économique des événements extrêmes et la bioéconomie

Deux méthodes d'approche des événements dits « extrêmes » se distinguent.

La première méthode considère des chroniques d'événements soumises à des perturbations exogènes. La chronique des débits d'une rivière en constitue un bon exemple. L'idée est alors d'isoler les *extrema* de la chronique (inondations ou sécheresses) et d'estimer la distribution de probabilité des points extrêmes.

La seconde méthode provient de la mécanique statistique et s'applique à des systèmes dynamiques soumis à des perturbateurs endogènes. Elle aboutit à la notion de criticité auto-organisée, facteur de bifurcations, de sauts de

comportement, d'émergence ou de disparition de niveaux d'organisation du système. Les champs d'application sont très variés tant dans les sciences de la matière, les sciences de la terre et du climat, les sciences de la vie que dans les sciences sociales. Dans ce dernier domaine, la criticité auto-organisée a été appliquée à l'étude de phénomènes aussi divers que la dynamique des krachs boursiers et les paniques financières, les comportements collectifs face à l'incertitude ou au danger ou les bases neurologiques de l'opinion ou des croyances.

La bioéconomie et l'économie des ressources naturelles sont aussi des domaines d'étude

caractérisés par de multiples phénomènes dynamiques complexes. Ici, les domaines sous-jacents sont des processus biologiques ou physico-chimiques seulement partiellement contrôlés par les spécialistes. Outre leurs dimensions aléatoires ou incertaines propres, ces processus peuvent présenter des effets

de seuil, des irréversibilités ou des points de retournement de régime (*tipping points*). Les contrôles applicables peuvent eux-mêmes être soumis à des effets retards significatifs (contrôle du transfert de contaminants de l'eau vers les nappes par exemple). Il en résulte un vaste ensemble de problèmes économiques



FOCUS II-1

De l'évaluation de la résilience à la responsabilité environnementale

Les évaluations et responsabilités environnementales constituent deux mécanismes juridiques contribuant à dépasser la perturbation induite par l'activité humaine et à restaurer la dynamique initiale de l'écosystème, permettant de retrouver un équilibre ou une capacité d'équilibre, sans qu'il s'agisse nécessairement d'un retour à l'état initial.

La directive de codification 2011/92/UE¹³ concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement, confirmée sur ce point par la directive 2014/52/UE¹⁴, intègre la résilience dans ses préoccupations. Elle prévoit que « les incidences d'un projet sur l'environnement devraient être évaluées pour tenir compte des préoccupations visant (...) à veiller au maintien des diversités des espèces et à conserver la capacité de reproduction de l'écosystème en tant que ressource fondamentale de la vie »¹⁵. Cet objectif auquel participent les mesures imposées au maître d'ouvrage est garanti par l'obligation d'exposer les effets attendus des mesures correctrices à l'égard des impacts du projet sur les éléments protégés et, surtout, le suivi de celles-ci, contrainte à laquelle est astreint ce maître d'ouvrage au titre des prescriptions accompagnant les autorisations dont il bénéficie¹⁶. Le maître d'ouvrage n'est cependant tenu d'aucune obligation d'informer l'autorité administrative d'éventuels effets non prévus ou du défaut d'efficacité des mesures adoptées, si tant est que ces effets soient mesurables sur le court terme ou, en tout cas, dans le long terme où une surveillance des impacts est effectivement pratiquée, laquelle n'est jamais alignée en pratique sur la durée d'exploitation de l'ouvrage ou de l'installation en cause.

La loi du 1^{er} août 2008 sur la responsabilité environnementale transposant la directive 2004/35/CE¹⁷ favorise la résilience en imposant une réparation en nature, à l'exclusion de tout autre mode¹⁸, l'objectif premier étant le retour à l'état initial (réparation primaire), c'est-à-dire « l'état des ressources naturelles et des services écologiques au moment du dommage, qui aurait existé si le dommage environnemental n'était pas survenu ». A défaut, le responsable peut se voir imposer par le préfet des mesures de réparation dites « complémentaires », en vue de fournir un niveau de ressources naturelles ou de services comparable à celui qui aurait été fourni sur le site s'il avait été rétabli dans son état initial, nonobstant la prescription de mesures « compensatoires » destinées à compenser les pertes intermédiaires, de ressources naturelles ou de services, intervenues entre la survenance du dommage et le retour à l'état initial. Elles peuvent toutefois être mises en œuvre sur un autre site, dont le choix « doit tenir compte des intérêts des populations concernées par le dommage ». Il faut cependant se garder de prendre au pied de la lettre l'objectif de « régénération naturelle » dans le cas particulier du sol, étant seulement imposée dans une perspective minimaliste « l'élimination de tout risque grave d'incidence négative sur la santé humaine ». Les fonctions écologiques du sol ne constituent ici qu'une mesure de l'atteinte. Dans tous les cas, la principale difficulté reste de garantir juridiquement le suivi des mesures adoptées jusqu'au retour à la « normale », pour ne pas que des perturbations additionnelles viennent contrarier le processus de restauration engagé, sauf à éviter de nouvelles autorisations dont les effets seraient délétères à son égard, correctif que peut permettre l'analyse des effets cumulés des projets et ouvrages en place.

13 - Directive du Parlement européen et du Conseil du 13 décembre 2011, JOUE L 26 du 28 janvier 2012, p.1.

14 - Directive du 16 avril 2014, JOUE L 124 du 25 avril 2014, p.1.

15 - Considérant n° 11 de la directive 2014/52/UE.

16 - Code de l'environnement, art. R. 122-4.

17 - JOUE L 143 du 30 avril 2004, p. 56.

18 - Code de l'environnement, art. L. 162-9.



que l'analyse aborde selon deux perspectives : une approche en termes de théorie de la décision, où l'enjeu est de parvenir à gérer au mieux un système naturel avec des commandes limitées, et une perspective d'organisation, où la problématique de contrôle du système se combine avec celle de la coordination de collectifs d'acteurs usagers des ressources naturelles.

Dans la perspective de la décision, l'analyse mobilise les outils de la théorie du contrôle, déterministe ou stochastique. Les applications en sont multiples en gestion des ressources naturelles, en épidémiologie, en économie forestière, halieutique ou agricole. Plus récemment, ces outils ont été appliqués à la protection de

la biodiversité, protection conçue comme un problème d'économie des collections, ainsi qu'à l'économie du changement climatique. La gestion optimale de systèmes dynamiques complexes est également abordée selon cette perspective. Il s'agit de systèmes à effets retards, à transition de phase, à bifurcation déterministe ou aléatoire, et plus rarement de systèmes combinatoires. La recherche économique s'est surtout attachée à préciser la nature des commandes optimales. Elle s'est aussi intéressée à l'unicité des stratégies de contrôle optimal des processus naturels en fonction de l'étendue et de la précision des contrôles applicables au système, notamment dans le domaine de la recherche opérationnelle.



II.3

La détermination aléatoire des temps de réponse des systèmes écologiques et sociaux

L'intérêt du concept de résilience réside dans sa structure conceptuelle dynamique qui prend en compte plusieurs échelles de temps dans toute leur complexité.

La détermination et la prédiction des temps de réaction et de réponses des écosystèmes aux perturbations demeurent des défis de taille.

La détermination difficile des temps de réponse des écosystèmes aux perturbations

La complexité des interactions biotiques et abiotiques au sein des écosystèmes, la capacité évolutive des organismes sous contraintes et les redondances fonctionnelles existant au sein des communautés d'organismes constituant les écosystèmes contribuent à la résistance des écosystèmes aux perturbations. Les indicateurs précoces de perte de résistance des écosystèmes sont généralement peu ou pas connus, rendant difficile l'évaluation de leur temps de réponse aux perturbations. De plus, l'unicité des écosystèmes complique

encore la prédiction des temps de réponses aux perturbations puisque chaque système a subi des contraintes passées différentes tant en qualité (type de contrainte), qu'en amplitude et en fréquence. De fait, l'état considéré souvent comme initial (état de référence cité par la loi sur l'eau, par exemple), c'est-à-dire avant perturbation, n'est qu'un état transitoire résultant des adaptations aux contraintes passées. Ainsi, deux écosystèmes voisins, d'un point de vue structurel et fonctionnel, peuvent avoir eu des histoires très différentes (usages,

cocktail de pollutions...) et, de ce fait, pourront réagir à une même perturbation de manière très différente. Il en résulte que la réponse d'un écosystème à une perturbation donnée n'est pratiquement jamais immédiatement perceptible, soit parce que l'on manque d'indicateurs précoces, soit parce qu'elle peut être masquée par le jeu complexe des interactions biotiques et abiotiques qui lui confère une résistance temporaire. Ce jeu des actions/réactions engendre finalement le plus souvent des « effets surprises » ; la dynamique de l'écosystème ayant atteint un *tipping point*, ou point de non-retour, le système évolue alors vers un nouvel état qui ne permet pas de retour à l'état précédent, annulant éventuellement sa capacité de résilience.

De nombreux travaux sont actuellement engagés dans différents domaines sur l'analyse de

ces *tipping points* et de la prédiction de leurs signes avant-coureurs (indicateurs précoces), mais cela requiert des séries temporelles à haute fréquence de ces indicateurs, séries qui font le plus souvent défaut. Ces effets surprises et la multiplicité des perturbations non quantifiées dont les effets cumulés, synergistes ou antagonistes sont peu ou pas connus, rendent assez vaine toute tentative de relier une action (perturbation) à une réaction de l'écosystème (changement de l'état, de la dynamique ou des fonctionnalités).

Nombre de ces processus adaptatifs et temps de réponse des écosystèmes ne coïncident pas avec ceux des systèmes sociaux dont la détermination constitue également un véritable challenge à appréhender par le juriste et l'économiste. La rencontre de ces temporalités est incontestablement, aujourd'hui, un enjeu fondamental.

Le droit à l'épreuve de la rencontre des temporalités des systèmes écologiques et sociaux

Du point de vue théorique, la résilience écologique procède d'une démarche intellectuelle d'intégration dynamique et systémique du temps qui passe. Elle permet d'appréhender de manière évolutive la prévention et la gestion des risques écologiques. Ces dernières démarches peuvent ainsi intégrer dans leurs schémas d'anticipation, diverses échelles de temporalité y compris celle du très long terme. La résilience impose de prendre en considération le long terme, que le droit appréhende sous deux formes au moins, la réversibilité et la durabilité. Or, une telle inclinaison est loin d'être une évidence pour les juristes qui, jusqu'alors, restaient isolés de toute démarche de protection juridique directe des générations futures¹⁹. A l'aube d'une sixième extinction des espèces, une telle démarche n'est plus impossible à penser, elle est déjà devenue une obligation spécifique à notre génération. En outre, le concept de résilience écologique fournit un éclairage systémique et complexe qui permet d'enrichir la démarche d'évaluation et de caractérisation du dommage écologique. Là où le concept d'irréversibilité a suscité un sursaut de

notre responsabilité quant au risque de fermeture des horizons d'avenir, celui de résilience réintroduit le principe même de « cycle » inhérent à tout système. Cette vision intégrative des processus écologiques induit, par voie de conséquence, des perceptions systémiques en cascade. En plaçant la focale sur le concept de résilience écologique, il devient possible de réintégrer le temps long et de composer avec lui de manière dynamique. Il permet de jeter un pont avec l'avenir en insistant sur la nécessité de le préserver. La théorie de l'équité transgénérationnelle peut fournir une assise philosophique intéressante (Brown-Weiss, 1993). En effet, l'enjeu fondamental concerne bien le souci de l'avenir, l'idéal de tenir l'avenir en respect et non pas, de repousser toujours davantage nos limites de tolérance aux risques et aux pollutions écologiques.

D'un point de vue pragmatique, le recours à l'idée de résilience écologique peut entraîner des conséquences diamétralement opposées. Pour les tenants d'une quête toujours plus poussée à la rentabilité financière en minimisant les conséquences écologiques des activités humaines,

19 - Il est permis de dégager de la définition même du droit l'existence d'un cadre temporel dans lequel se pense, s'inscrit et s'élabore le droit. Ce postulat temporel a été magistralement exprimé à l'article 28 de la Déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1793 : « un peuple a toujours le droit de revoir, de réformer et de changer sa Constitution. Une génération ne peut assujettir à ses lois les générations futures ». Certes, cette Déclaration n'est jamais entrée en vigueur ; elle exprime néanmoins on ne peut plus clairement l'approche épistémologique des juristes concernant les générations futures : ces dernières ont vocation à rester hors du droit. Tout « droit de l'avenir » est nécessairement illégitime et contre-nature (Gaillard, 2011).



la résilience écologique pourrait être une aubaine conceptuelle pour minimiser d'autant plus les externalités environnementales négatives. La logique serait alors celle du « toujours plus de profits puisque l'environnement le supportera à échéance temporelle plus vaste » (exemple des déchets nucléaires). Là, nous semble-t-il, n'est pas la substance conceptuelle ni le défi pratique du concept de résilience écologique. Ce dernier jette un pont de solidarité à travers les frontières, qu'elles soient spatiales ou temporelles pour mettre au jour le principe

d'unité dans la diversité du vivant qui n'a de sens que s'il est perçu à travers la pensée complexe. La gradation s'invite à l'intérieur des concepts, notions et principes juridiques qui permettent d'accompagner tout processus de résilience écologique. La problématique de ces temporalités et la recherche aléatoire de concordance des temps des systèmes écologiques et sociaux soulève la question des anticipations et des mécanismes économiques susceptibles de gouverner l'état des systèmes dans le présent et le futur.

Quels mécanismes économiques gouvernent l'état du système dans le présent et le futur ?

Cette question est le point de départ d'un programme de recherche important sur les anticipations. La finalité est double : donner du temps aux agents augmente leurs chances de converger vers un équilibre et leur offre l'accès à un flux d'information supplémentaire aux seules données économiques du présent. L'existence d'un futur signifie en effet la possibilité pour les acteurs économiques de se projeter dans ce futur et de former des anticipations sur les mouvements possibles de l'économie. A un processus de tâtonnements myopes vers une situation coordonnée se substitue un processus d'apprentissage par essais-erreurs fondé sur la construction de « théories » subjectives des acteurs sur les mécanismes économiques gouvernant l'état du système dans le présent et le futur. La congruence interpersonnelle de ces théories définit ce qu'on appelle un système d'anticipations rationnelles.

Par construction, des anticipations rationnelles exploitent au mieux l'information publique disponible dans l'économie et permettent une coordination au moins stochastique des décisions. Des théories comme celle des marchés financiers efficients dérivent largement de cette idée. Il apparaît alors que ce mode de raisonnement présente des limites.

Lorsque certains agents bénéficient d'une meilleure information que d'autres, les agents non informés doivent anticiper rationnellement cet état de fait. Face au marché, ils doivent adapter leur comportement à la possibilité que des agents informés influencent à leur profit le résultat des échanges. C'est le problème des initiés, agents bénéficiant d'asymétries d'information en leur faveur. L'efficacité de la coordination, au

sens de la capacité d'un système de marchés à susciter le maximum de gains à l'échange pour le plus grand nombre peut en être sérieusement affectée. Si les anticipations sont un puissant moyen de résoudre des problèmes de coordination, particulièrement en univers aléatoire, elles ont cependant leurs limites. Le système de prix peut être absorbant au sens informationnel, les prix ne transmettant pas d'information sur la valeur des sous-jacents mais uniquement sur l'état des croyances. C'est le point de départ de la théorie des prophéties auto-réalisatrices. Lorsque la valeur des sous-jacents est sujette à des chocs exogènes, comme dans le cas des matières premières agricoles, l'arbitrage par les spéculateurs peut amplifier les fluctuations des cours et non les atténuer. Le fonctionnement des marchés pourrait aussi engendrer des phénomènes de propagation par vagues pouvant évoluer vers des dynamiques d'hystérésis ou de chaos.

La question des équilibres et des déséquilibres est aussi abordée par la macroéconomie. Dans la vision microéconomique standard, les prix sont des signaux informationnels, à ce titre plus mobiles que les flux de transactions de biens physiques. Les approches post-keynésiennes voient davantage les prix comme institués (via des mécanismes contractuels collectifs par exemple) et donc moins facilement ajustables que les volumes échangés. C'est le point de départ des théories du « déséquilibre », plus exactement des équilibres à prix fixes. Dans ces théories, l'offre et la demande ne parviennent pas à se rencontrer avec pour conséquences le chômage (déséquilibre du marché du travail) ou la surproduction (déséquilibre du marché des

biens). Les déséquilibres deviennent alors l'état « normal » d'une économie, la justification des politiques économiques résidant précisément dans leur capacité à les réduire. La macroéconomie dynamique offre d'autres exemples de cette problématique du déséquilibre. La combinaison d'anticipations adaptatives et d'inerties

liées à la présence de biens et actifs durables (le « capital ») suscite la formation de cycles conjoncturels d'activité des secteurs industriels, point de départ des théories des cycles réels. La macroéconomie monétaire développe des analyses parallèles pour expliquer les fluctuations et les crises des monnaies.



II.4

A la recherche des capacités d'adaptation des systèmes socio-écologiques : entre nécessité et sérendipité

Le concept de résilience invite à s'interroger sur les réponses des systèmes écologiques et sociaux leur permettant de revenir à leur trajectoire sans altérer leurs processus fondamentaux, leurs fonctions et structures essentielles. Ces questionnements sont nécessaires face aux injonctions pressantes des autorités publiques en faveur du maintien, du renforcement et du rétablissement de la résilience de ces systèmes. Ces impératifs politico-juridiques justifient l'importance de recherches interdisciplinaires propices à la découverte des capacités d'adaptation des systèmes socio-écologiques. Des incertitudes sur la compréhension du fonctionnement et de l'évolution de ces systèmes demeurent et révèlent les difficultés de piloter et d'orienter ces systèmes

vers tel ou tel horizon de durabilité. Elles démontrent la nécessité de décrypter les finalités et les effets annoncés, cachés et inattendus de la résilience. Est-elle la nouvelle égérie d'une idéologie libérale ? Conduit-elle à l'exploitation optimale des écosystèmes ? Devient-elle une nouvelle pièce du puzzle de la transition écologique et d'un développement durable ? Nonobstant ces querelles de vocabulaire et les discordes cognitives et axiologiques, la fortune de ce concept reste à la mesure des besoins des sociétés confrontées à la protection et à la gestion défaillante de la biodiversité. En écho aux approches holistiques des systèmes complexes, il invite à revisiter, voire repenser les modes de compréhension, de décision et de régulation des systèmes socio-économiques.

Les trajectoires d'évolution des systèmes socio-écologiques ou l'exploration du champ des possibles

Toutes les incertitudes citées plus haut sur le fonctionnement des systèmes complexes que sont les écosystèmes, c'est-à-dire le rôle des facteurs biotiques (la plasticité phénotypique et physiologique, l'évolution des espèces, la redondance fonctionnelle), leur état actuel (prenant en compte leur histoire) et leur capacité de réaction (résistance) ou de changement irréversible (*tipping*

point), font du concept de résilience un leurre bien commode pour ceux qui y voient un espace de liberté pour laisser faire, et une quête du Graal non atteignable pour ceux qui croient encore à l'état d'équilibre ou état « normal ». Dans ce contexte d'incertitudes sur les réponses aux contraintes des écosystèmes, qui sont le plus souvent non linéaires, les *tipping points* et les effets retards,



les résultats des exercices de modélisation des scénarios d'évolutions doivent être utilisés avec précaution, et ce d'autant plus qu'ils reposent en général sur l'hypothèse selon laquelle les contraintes actuelles et les réponses engendrées seront similaires dans le futur. L'utilisation de conjectures scénarisées pour explorer le champ des possibles semble plus prometteuse et plus réaliste pour explorer les possibilités de maintenir une capacité d'évolution aux écosystèmes, capacité d'évolution qui nécessite que l'on accepte de maintenir un certain désordre dans ces systèmes et, par voie de conséquence, accepter qu'ils nous surprennent par leurs réactions aux perturbations.

Le déséquilibre, l'instabilité, le désordre sont aussi socialement désirables. L'enjeu vital d'une société est de préserver une certaine flexibilité, une capacité de changement et d'innovation, ou encore les moyens de tirer profit d'opportunités intéressantes. Les risques de déséquilibres, de crises, d'accidents ou de catastrophes (environnementales ou financières), sont appréhendés par une approche soucieuse de préserver un certain niveau de désordre, de destruction créatrice, d'innovation et de changement, voire de révolutions sociales ou technologiques. Il s'agit de maintenir une fluidité du lien entre la liberté et la norme, tant contingente que nécessaire.

Les modes de régulation des systèmes au miroir de la flexibilité : quel tracé des limites ?

L'accroissement des vulnérabilités des systèmes socio-écologiques exposés à l'ampleur des crises socio-économiques et environnementales révèle le processus d'amoindrissement des capacités d'adaptation des différents niveaux d'organisation de ces systèmes. Dans le sillage de la théorie des systèmes complexes, des « capabilités » d'Amartya Sen et des figures postmodernes du droit, les promoteurs du concept de résilience prônent une approche holistique et identifient les critères d'adaptabilité des systèmes (flexibilité, diversité, connectivité, redondance...). La flexibilité est dans l'air du temps. *To be or not to be flexible, that's not only the question.* Quelles traductions normatives ? Quelle dose acceptable de flexibilité ? Comment gérer les contradictions entre les processus de résilience ? Qui décide et comment ? Artisan des limites et de la pesée des intérêts, le droit contribue à dessiner et à redessiner les modes de régulation des systèmes et de leurs interactions évolutives. Si le droit est un autre monde et construit sa propre réalité, il demeure perméable aux données extérieures susceptibles de faire vaciller ou de renforcer son autorité et sa propre résilience. L'efficacité et l'effectivité des dispositifs juridiques actuels de protection et de gestion de la biodiversité sont l'objet de critiques récurrentes et connues. L'appréhension juridique imparfaite des composantes et du fonctionnement dynamique des systèmes écologiques se conjugue aux limites intrinsèques du droit et à l'insuffisante intégration des exigences environnementales dans l'ensemble des branches du

droit. Face à ces insuffisances, il est aisé de comprendre l'attractivité du concept de résilience auprès des autorités publiques. Dans le meilleur des mondes, la flexibilité des modes de régulation se substituerait à leur rigidité, la sectorialisation laisserait place à l'appréhension holistique, la « jurisdiversité » (Martin, 2008) prendrait le pas sur l'approche *command and control*, la figure du réseau et du pluralisme juridique détrônerait la pyramide des normes (Ost et Van de Kerchove, 2002 ; Delmas Marty, 2006). Cependant, ce serait oublier les dynamiques non linéaires et contingentes des systèmes complexes. En outre, cela offre une vision simplifiée des capacités d'adaptation du droit dans les limites du principe cardinal de sécurité juridique, garantie de la prévisibilité et de la stabilité des relations entre les agents.

En l'état actuel du processus d'intégration du concept de résilience dans le droit, la résilience constitue, selon les textes, un objectif à atteindre pour surmonter une diversité de chocs. Citons par exemple différentes communications de la Commission européenne portant sur le changement climatique, les catastrophes naturelles, les espèces invasives, l'insécurité alimentaire, la pauvreté... ainsi que sur un domaine prioritaire de stratégies d'action et d'autres financements (LIFE et Fonds structurels de l'Union Européenne), un indicateur du bon état écologique des eaux marines (arrêté français du 17 décembre 2012). Sans attendre la médiatisation de la résilience, le droit prescrit déjà une série d'obligations d'anticipation, de vigilance et d'alerte précoce,

Vue aérienne des communes de La Faute-sur-Mer et L'aignillon-sur-Mer après le passage de la tempête Xynthia.

de planification, d'évaluation et de suivi à partir du fondement des principes du droit de l'environnement (prévention, précaution, participation...). Le concept de résilience devrait contribuer à renforcer l'élargissement des dispositifs propices à renforcer les capacités d'adaptation des systèmes à différents niveaux d'organisation territoriale. Cette relecture des modes de régulation invite à analyser l'élaboration de nouveaux scénarios et d'indicateurs composites et à généraliser les initiatives intégrées sur les catastrophes naturelles comme le programme régional AGIR ou le projet européen SHARE. Elle justifie d'apprécier la pertinence du recours à l'expérimentation législative et la recherche de nouvelles combinaisons d'instruments juridiques au-delà des approches incrémentales. Il est « rentable d'investir dans la résilience » (COM 586, 2012). Renforcer la résilience favoriserait,

selon les décideurs, l'utilisation optimale des deniers publics et des écosystèmes pourvoyeurs de services écosystémiques et transformés en infrastructures vertes (COM 249, 2013). Sous couvert de ce louable objectif qu'il reste à apprécier, des priorités devront donc être définies et ne reflèteront pas systématiquement la logique affichée de gagnant-gagnant. La prudence s'impose et justifie des appréciations approfondies sur les forces et faiblesses du concept de résilience afin de prévenir toute régression du droit de l'environnement et de la mise en cohérence environnementale des politiques publiques au nom d'une certaine modernisation. L'ambition de promouvoir une « culture de sécurité et de résilience »²⁰ invite à s'interroger sur les responsabilités communes et partagées des acteurs et la fabrique d'une nouvelle gouvernance des systèmes socio-écologiques.

De nouveaux jeux d'acteurs au service de la gouvernance des systèmes socio-écologiques

Le couplage de la problématique du contrôle de systèmes naturels avec des questions de coordination d'acteurs aux intérêts divergents conduit à élargir la perspective suscitant ainsi de nouveaux problèmes. L'exemple le plus connu est celui de la tragédie des communs. Même dans des situations stylisées où il serait possible de contrôler de manière optimale la dynamique d'une population de poissons, l'absence de restrictions d'accès à la pêche se traduit par une surexploitation de la ressource. Ce sont alors les liens, à la fois techniques et politiques, entre la panoplie des contrôles applicables à la gestion optimale du système et les institutions (régimes de propriété, instances de décision politiques, marchés, mécanismes contractuels...) à même de coordonner les décisions individuelles qui constituent la principale source de difficultés, tant pour l'analyse de ces situations que pour leur gestion.

Les limites du marché peuvent expliquer l'émergence de systèmes alternatifs de coordination, comme les systèmes de planification en univers hiérarchisé qui caractérisent les échanges internes aux entreprises. Les marchés ne sont alors plus que des instances de coordination des décisions économiques parmi d'autres et le problème de la coordination apparaît comme un sous-problème dans un ensemble plus vaste de questions d'organisation. Beaucoup de

travaux contemporains interrogent ainsi le marché comme organisation et pas seulement comme espace de coordination. L'enjeu est de construire une théorie permettant d'expliquer la formation d'isolats hors marché, comme les ménages ou les entreprises, isolats opérant en coexistence avec des espaces organisés de transactions marchandes.

A côté de ces considérations sur l'émergence des organisations économiques, la théorie des marchés a beaucoup contribué à l'étude des univers économiques incertains. L'approche néo-classique prédit l'existence d'équilibres en présence de marchés notionnels pour tous les états futurs possibles de la nature. Les marchés boursiers ou les marchés à terme illustrent qu'un ensemble aussi complet de marchés peut ne pas exister. Dans cette situation, la coordination des agents économiques peut se révéler inefficace, voire impossible. Les agents ne parviendront pas à s'assurer convenablement contre le risque de marché ou plus exactement à partager et mutualiser les risques de manière efficace. Il en résulte une possible multiplicité d'équilibres de marché entraînant des crises financières.

Au vu de ces questionnements, le concept de résilience constitue un cas d'école propice à des analyses interdisciplinaires critiques qu'il importe de poursuivre et d'approfondir.





INÉGALITÉS ÉCOLOGIQUES ET JUSTICE ENVIRONNEMENTALE

Charles Figuières (coordinateur), Luc Abbadie, Agnès Michelot



Introduction

Toutes les inégalités ne sont pas injustes. Même les théories « égalitaristes » de la justice commencent toujours par définir le lieu sur lequel il est souhaitable de rechercher l'égalité (Sen, 1980). En-dehors de ce périmètre, vouloir imposer l'égalité pourrait en fait aller contre l'idéal de justice. L'injustice ne relèverait donc pas des inégalités dans l'absolu, mais seulement des inégalités illégitimes. La notion de responsabilité, inspirée de l'œuvre du philosophe John Rawls (1971), est devenue un critère central pour tracer la frontière entre les inégalités qui devraient être combattues et celles qu'il faudrait laisser s'exprimer (Dworkin, 1981)²¹. Le plus

souvent, la responsabilité d'un agent sur un résultat, une situation, une variable est engagée lorsque il en a le contrôle, mais d'autres conceptions sont possibles²².

Selon cette logique, l'absence d'accès à la mer pour certains Etats, l'absence d'eau dans certaines régions, une exposition particulière à la submersion du fait de la configuration géographique ou encore la distribution de la biodiversité seraient injustes car les agents concernés n'en sont pas responsables. L'injustice environnementale provient des réalités écologiques sur lesquelles les êtres humains ne peuvent pas avoir prise²³, celles qui sont situées

21 - Ronald Dworkin propose une logique en deux étapes : 1) définir pour les agents le domaine sur lesquels ils peuvent être tenus pour responsables de ce qui les affecte, 2) chercher à réaliser l'égalité entre les agents en-dehors de ce domaine, mais laisser s'exprimer les inégalités à l'intérieur de ce domaine.

22 - La responsabilité sur une variable peut aussi être attribuée par délégation, quand la société décide de façon discrétionnaire de ne pas consacrer de ressources à corriger les éventuelles inégalités associées à cette variable. Voir aussi Marc Fleurbaey (1995).

23 - Pour une analyse des discriminations environnementales et des difficultés pour les établir, voir Gerard C. Rowe (1999).



au-delà de leur sphère de responsabilité. Etablir ce périmètre n'est pas toujours chose aisée. Les efforts pour la conservation de la diversité biologique, l'exposition aux nuisances et aux risques environnementaux, la discrimination dans l'accès aux services écologiques et aux ressources environnementales (Emelianoff, 2007) sont autant de situations où l'objectif de justice environnementale implique une réflexion approfondie qui s'intéresse aux causes des inégalités et aux éventuelles responsabilités qui en découlent.

Une théorie complète de la justice, dans le domaine de l'environnement comme ailleurs, va envisager au moins trois questions :

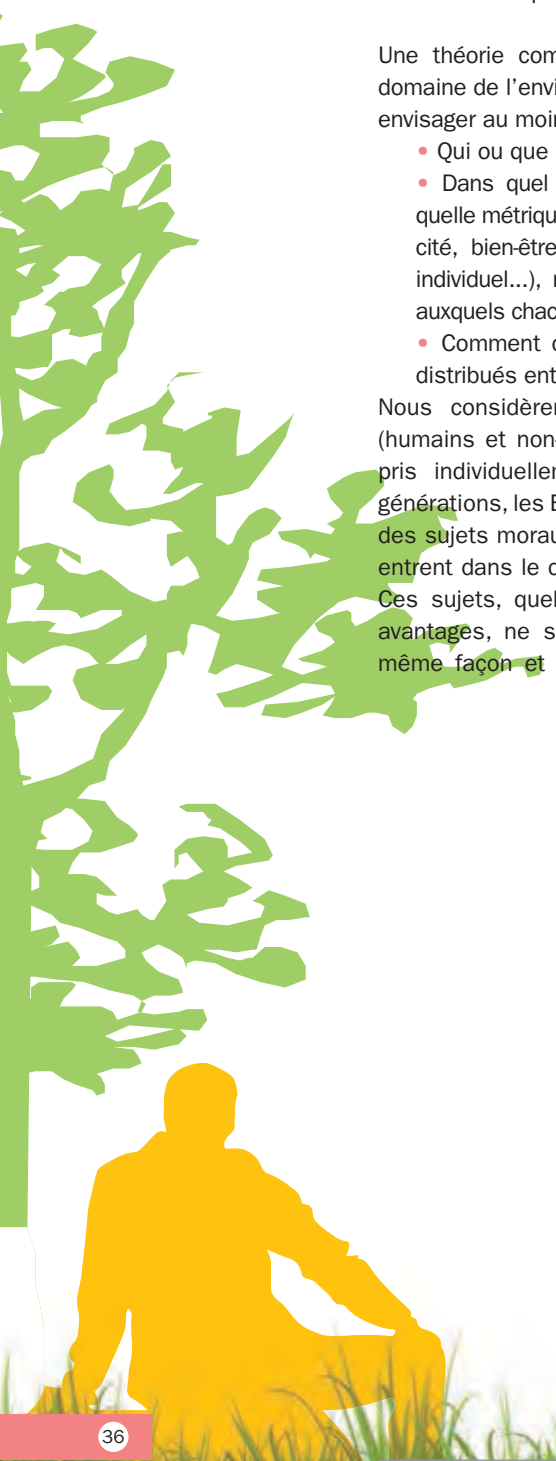
- Qui ou que sont les sujets moraux ?
- Dans quel système de valeurs, ou dans quelle métrique (liberté, biens premiers, capacité, bien-être, bonheur, espace écologique individuel...), mesure-t-on les « avantages » auxquels chacun est supposé avoir droit ?
- Comment ces avantages doivent-ils être distribués entre les entités justiciables ?

Nous considérerons que les êtres vivants (humains et non-humains) présents et futurs, pris individuellement ou collectivement, les générations, les Etats, peuvent être vus comme des sujets moraux, c'est-à-dire des entités qui entrent dans le champ de la réflexion éthique. Ces sujets, quelle que soit la métrique des avantages, ne sont pas tous affectés de la même façon et ne contribuent pas dans les

mêmes proportions à l'évolution de la biosphère. Des notions ou des principes comme la responsabilité, l'égalité des chances et des opportunités, la répartition des efforts selon la capacité et celle des bénéfices selon le mérite ou la vulnérabilité, la priorité aux besoins de base peuvent être utiles.

Il faut aussi considérer que la perte de la biodiversité, la surexploitation des ressources naturelles, les risques écologiques, les changements climatiques ou encore les pollutions de toutes sortes diffèrent par leur portée spatiale et temporelle. Ces inégalités sont-elles injustes ? Dans ces dimensions spatiales et temporelles, y a-t-il un intérêt à développer de façon concertée des connaissances en droit, en écologie et en économie ? Cette réflexion s'efforce d'articuler les éclairages que peuvent offrir ces trois disciplines, sans entrer dans le détail des réponses. Afin de centrer l'exposé sur le rôle des inégalités, nous supposons connus les sens que le droit, l'économie ou l'écologie peuvent donner aux expressions « justice environnementale » (focus III.1) et « intérêt général » (focus III.2).

Il s'agit d'analyser tout d'abord le rapport entre inégalités et justice environnementale. Ces inégalités environnementales se déclinent ensuite dans leurs dimensions spatiale ou temporelle. Puis, sont abordés les moyens de lutter contre les inégalités.





FOCUS III.1

Justice environnementale

L'expression justice environnementale revêt au moins deux sens, l'un pour nommer une préoccupation nouvelle dans la vie politique et l'autre pour désigner un corpus de connaissances.

Dans le champ social et politique, la notion renvoie à un mouvement qui a émergé aux États-Unis et au Canada dans les années 1980, sous la pression de minorités ethniques défavorisées. Par la suite, plusieurs études (Bullard, 1990 ; OCDE, 2004) ont confirmé que l'exposition aux nuisances environnementales (pollutions subies, proximité entre l'habitat et les sites de déchets, vulnérabilités écologiques...) est une des multiples facettes de la pauvreté et des inégalités. Les causes du phénomène sont multiples et parfois intuitives. Elles concernent les politiques d'aménagement défavorables aux plus pauvres, les fonctionnements des marchés du travail et de l'immobilier, le développement industriel avec stratégie d'implantation aux endroits où les risques d'opposition sont les plus faibles, des facteurs historiques divers, les inégalités dans la capacité d'interpeller les pouvoirs publics et d'accéder à l'information, l'ignorance des impacts, l'insouciance ou encore la naissance tardive d'une conscience environnementale. Par conséquent, la montée des problèmes environnementaux remet en question l'agir individuel autant que nos modes d'organisation sociale et économique.

Sans faire référence aux pensées antiques et aux traditions religieuses, les débats sur la justice au sens large relèvent de la philosophie morale et politique. Cette discipline prend son essor en Europe dès le 17^e siècle, lorsque des penseurs célèbres ont développé d'une part les approches de la justice par le Contrat social (Hobbes, Locke, Rousseau, Kant) et d'autre part la philosophie utilitariste (Hume, Bentham, Mill). Toutefois, ce n'est qu'à partir du 20^e siècle, dans les années 1960, que la philosophie morale et politique commence à être visible et reconnue comme une spécialité de la philosophie. Dès lors, ses déclinaisons environnementales sont apparues très vite, en témoigne la naissance de revues spécialisées comme *Environmental Ethics* qui date de la fin des années 1970, et ont tout de suite été marquées par un dialogue fourni avec d'autres disciplines comme l'économie et le droit, interrogées elles aussi sur des problèmes similaires. Les connaissances académiques sont donc relativement récentes et déjà foisonnantes. Cependant, il devient difficile de se repérer à travers une multitude de classifications, de dilemmes, de controverses et d'écoles de pensées. Pour Catherine Larrère (2009), la justice environnementale concerne la répartition équitable des avantages et des problèmes environnementaux entre les sujets moraux.



III.2

Des inégalités territorialisées

La distinction émissions/impacts

Le changement climatique, les pollutions acides et les altérations des services écosystémiques sont trois exemples de problèmes environnementaux qui peuvent motiver l'étude des inégalités en repensant la perspective spatiale à une échelle plus globalisée.

Le changement climatique

Le changement climatique pose un sérieux défi à notre capacité à construire des réponses globales et équitables à des problèmes communs. En amont, les émissions de gaz à effet de serre proviennent de façon disproportionnée des pays industrialisés. En aval, les conséquences potentielles sont multiples sur les échanges commerciaux, les flux migratoires, les relations internationales entre Etats et plus généralement sur les modes de vie. Même si les magnitudes sont incertaines, il est probable que les effets les plus néfastes du changement climatique s'abattront d'abord sur les pays les plus pauvres, qui sont à la fois les moins responsables de leur déclenchement, mais aussi les moins équipés ou les plus vulnérables pour y faire face. Pensons par exemple aux zones situées à moins de 10 m au-dessus du niveau de la mer. Ces zones abritent 10% de la population mondiale ; 21% de la population urbaine des pays les moins développés se trouvent dans cette zone, contre 11% dans les pays de l'OCDE. Les individus ne sont pas les seules entités concernées. C'est aussi l'existence de certains Etats qui est compromise ; ces Etats ont formé l'Alliance des petits Etats insulaires, AOSIS (*Alliance of Small Island States*).

Cette distinction entre pays responsables du changement climatique et pays victimes est déjà une source de tension diplomatique et justifie parfois l'inaction : « nous ne sommes pas responsable du changement climatique, ça n'est donc pas à nous de faire des efforts en bridant notre développement »²⁴.

Les pollutions acides

La distinction émissions/impacts est également utile dans le cas des pollutions acides. Les points d'impact ne présentent pas tous la même vulnérabilité : les zones à substrat déjà acide sont plus sensibles à l'acidification par rapport aux zones à substrat calcaire (le concept de *critical sulphur deposition* a été proposé pour saisir cette subtilité). En fonction des vents, la localisation des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) influence la direction et la distance à laquelle cette pollution est transportée. La structure géographique du problème n'est pas celle du dioxyde de carbone (CO₂) qui, lui, affecte tout le monde de la même manière. Pour réduire la pollution du SO₂, il n'est pas judicieux d'envisager une diminution globale ; une politique spatialisée est plus pertinente.

Les services écosystémiques

Depuis le *Millennium Ecosystem Assessment* (2003), il est reconnu que le bien-être humain est sous dépendance partielle d'un certain nombre de services rendus par les écosystèmes. Certains services procurent des avantages localement, d'autres concernent les dynamiques planétaires. Un service écosystémique n'est rien d'autre que la version socialisée d'une fonction écologique. Par conséquent, tous les services sont interdépendants. Tout comme il existe des *trade-offs* entre processus en écologie, il en existe entre services : favoriser un service se fait souvent au détriment d'un autre. Par ailleurs, un service est fréquemment délivré ici pour être « consommé » ailleurs. Il suffit pour s'en convaincre de penser à l'eau dont la qualité en aval dépend de la couverture végétale en amont, dont la quantité précipitée à l'est dépend de l'évapotranspiration à l'ouest. Dans ces conditions, se pose la question de la pertinence de nos modes de raisonnement sur les territoires, perçus comme

24 - "Even in an emergency one pawns the jewellery before selling the blankets (...). Whatever justice may positively require, it does not permit that poor nations be told to sell their blankets [compromise their development strategies] in order that the rich nations keep their jewellery [continue their unsustainable lifestyles]" (Shue, 1992, p. 397).



FOCUS III.2

La notion d'intérêt général

Pour l'écologue, le questionnement sur l'intérêt général ressemble à un intrus dans son quotidien professionnel. C'est une invitation à envisager une finalité, sous l'insistance des demandes sociale et institutionnelle, qui n'est pas forcément celle pour laquelle ses outils et ses méthodes ont été initialement conçus mais il n'en va pas de même pour le juriste et l'économiste.

Comme le rappelle le rapport 1999 du Conseil d'Etat, la notion d'intérêt général se situe au cœur de la pensée juridique depuis plus de 200 ans, en tant que finalité ultime autant que comme légitimation de l'action publique. La notion a connu de nombreux avatars qui expriment deux conceptions divergentes selon les pays. La première, répandue dans les pays anglo-saxons, est dite « utilitariste ». Elle s'apparente à celle des économistes : l'intérêt général est une simple agrégation des intérêts particuliers. Les économistes représentent le bien-être social comme une fonction croissante des utilités individuelles. Cette conception de l'intérêt général est voisine de celle du bonheur collectif et est en grande partie une affaire de calcul. Pour savoir si une alternative sociale va dans le sens de l'intérêt général, les économistes soustraient la somme des peines à la somme des plaisirs qui y sont associés. Si le résultat est positif le projet est déclaré socialement bon. Aux Etats-Unis, pour tout projet public suffisamment important, il existe une obligation légale de procéder à une analyse coût-avantages, ce qui peut être vu comme une traduction opérationnelle de la conception « utilitariste » de l'intérêt général. Pour la seconde conception, dite « volontariste », l'intérêt général ne se résume pas à la somme des intérêts particuliers. Un dépassement, nécessaire, exprime la volonté générale et la capacité des individus à former une société politique. Dans ce dépassement, en France, le juge, le législateur et le Conseil Constitutionnel jouent un rôle clef. La notion d'intérêt général n'est pas précisée *ex ante*,

ces trois catégories d'agents étant appelées à la définir selon les situations. Elle peut donc évoluer, s'adapter au contexte, à des valeurs d'ordre supérieur (liberté, égalité...) ou nouvelles comme celles liées à l'émergence des problématiques écologiques.

En définitive, si le droit positif se justifie en référence au droit naturel, c'est-à-dire en accord avec la philosophie dominante du moment, on comprend que les théories du Contrat social des Lumières ont eu, et ont encore, une influence sur la conception « volontariste » de l'intérêt général. Le Contrat social est une fiction utilisée par un courant de philosophie politique (Hobbes, Lock, Rousseau, Kant, Hegel, Rawls) qui suppose un « état de nature » préalable à toute organisation sociale et politique acceptée par tous. C'est un lieu de débat dans lequel les individus appelés à former une communauté sont démunis de toute information non moralement pertinente. Par exemple, ils ne savent pas qui (genre, profession, statut...) ils seront dans la société. Ils raisonnent derrière un voile d'ignorance, de manière à produire un accord rationnel et impartial sur les règles de vie sociale.

Et pour l'économiste ? Il existe naturellement une richesse de points de vue dans la profession. Mais, en dépit des défauts habituels liés à la simplification, on peut dire que l'économiste marche dans les pas de ses illustres prédécesseurs, qui remontent au moins à Adam Smith au 18^e siècle, avec deux béquilles : l'une pour comprendre et expliquer les phénomènes économiques et sociaux observés, l'autre pour aborder les considérations éthiques, morales, que ce soit pour mieux comprendre les ressorts du comportement humain ou pour prescrire les modalités de l'intervention publique au nom d'une certaine vision de l'intérêt général. Cette vision propose un contenu issu de la doctrine utilitariste relativement précis de ce qui est « juste ». La démarche est qualifiée de conséquentialiste : le caractère « juste » d'une



FOCUS III.2 (suite)

décision, d'un projet, dépend seulement des conséquences qui en découlent mais pas des chemins, des moyens ou des procédures empruntés pour y parvenir. L'intérêt général des économistes se démarque des doctrines déontologiques comme celles de Rousseau, Kant ou Rawls, qui relèvent davantage du Contrat social (même si des rapprochements peuvent être faits entre les deux doctrines, comme l'énonce le fameux Théorème de l'observateur impartial d'Harsanyi). Ensuite, dans l'espace des conséquences, une seule information compte : la valeur bien-être. Les conséquences sur d'autres valeurs (liberté, égalité, fraternité...) ne pèsent que dans une logique complémentaire, sinon elles peuvent être tout simplement ignorées. Enfin, l'intérêt général se conçoit comme une certaine agrégation du bien-être individuel, on parle d'une fonction de bien-être social. C'est la métrique du juste, à partir de laquelle les alternatives sociales peuvent être classées, et la ou les meilleures d'entre elles peuvent être identifiées. Une situation est dite optimale au sens de Pareto lorsqu'il n'existe pas de changement réalisable grâce auquel le bien-être de certains pourrait être amélioré sans détériorer celui d'aucun dans la société.

Les économistes voient cette optimalité comme une condition nécessaire mais non suffisante pour définir l'intérêt général. Nécessaire car, par définition, à partir d'une situation qui n'est pas optimale, il existe des déviations qui font des gagnants sans faire de perdants. Il devrait y avoir unanimité pour éviter de tels gaspillages. Cependant, c'est une condition non suffisante car les solutions optimales peuvent être très nombreuses et certaines très inégales (un partage du gâteau qui donne tout à Pierre et rien à Paul est optimal au sens de Pareto). Avancer dans la définition de l'intérêt général implique donc de se demander : est-il possible d'agréger les intérêts individuels de manière adéquate ? Par un vote à la majorité ? A l'unanimité, ou selon toute autre modalité ? Cette question de l'agrégation, ou comment mettre en balance les

intérêts de Pierre et Paul dans le partage du gâteau est loin d'être triviale et correspond en fait à toute une branche de l'économie, la théorie du choix social, initiée par le Théorème d'impossibilité d'Arrow.

Supposons résolue cette question de l'agrégation (des solutions existent bel et bien). Il est intéressant de noter que pour les questions environnementales, et sans doute pour d'autres aussi, la vision « utilitariste » ou « bien-êtreiste » des économistes a des raisons de rejoindre celle, « volontariste », des juristes sur l'intérêt général. C'est la question du dépassement de la simple agrégation des intérêts particuliers qui invite à ce rapprochement. Pour des problèmes comme la gestion des déchets radioactifs ou d'adaptation au changement climatique des décisions sont prises aujourd'hui dont les effets se feront sentir auprès des générations qui ne sont pas (encore) là pour défendre leur intérêt. Agréger les points de vue des vivants ne suffit donc pas. Comment dépasser les intérêts particuliers de la génération présente ?

Une première possibilité tient dans un postulat méthodologique : on prête aux générations à venir les mêmes intérêts, les mêmes goûts ou préférences qu'à la nôtre. Dans l'opération d'agrégation il reste à savoir comment pondérer l'intérêt des descendants, d'où les vifs débats sur le taux d'actualisation sociale, notamment dans les travaux sur le changement climatique comme le rapport Stern (2007). Une seconde voie serait de compter sur l'altruisme des contemporains. Agréger des intérêts dynastiques reviendrait alors à tenir compte de l'intérêt général. Cela suppose néanmoins un altruisme parfaitement informé des *desiderata* des générations futures (peu réaliste). Sinon, cette piste mène à accepter une forme de paternalisme envers nos descendants ou de s'en remettre au paternalisme de l'Etat, éventuellement sous le contrôle de sages. C'est un peu la tentation du recours à l'homme politique providentiel. L'Histoire fourmille d'exemples où ce pari sur un *Deus ex machina* a mal tourné.

un assemblage d'entités différenciées. Ne faudrait-il pas aller vers une notion plus continue, vers une notion de territoire fonctionnel de vie et donc s'inspirer de l'approche de la complexité inhérente à l'écologie ?

Intégration des différentes échelles géographiques

Spontanément, l'écologie s'intéresse à la dimension spatiale mais toujours sous l'angle de la complexité, c'est-à-dire sous l'angle du « système ». Le terme « écologie » a été créé en 1886 et la définition qui en était donné était la suivante : « C'est la connaissance de l'économie de la nature, l'investigation de toutes les relations d'un animal à la fois avec son milieu inorganique et organique (...). En un mot l'écologie est l'étude de toutes ces inter-relations complexes considérées par Darwin comme les conditions de lutte pour la vie »²⁵.

Cette vision de l'environnement en tant que système s'applique à toutes les échelles, du mètre carré à la biosphère dans son ensemble. Elle indique qu'il n'existe pas d'enjeu réellement circonscrit ; que toute action sur une composante, un processus ou une dynamique de l'écosystème

a une répercussion plus ou moins rapide sur l'ensemble de l'écosystème. Elle soutient que les questions locales sont également des questions régionales et globales et réciproquement. Le droit pour sa part offre de multiples entrées pour appréhender la géographie des inégalités environnementales. Par exemple, il peut s'intéresser aux injustices qui découlent d'actions d'appropriation ou de spoliation de ressources naturelles qui peuvent recouvrir différentes formes (Simms, 2005). Le droit dispose à la fois d'une force de territorialisation des problématiques écologiques en s'appuyant sur le principe de souveraineté sur les ressources naturelles et d'une capacité de « déterritorialisation juridique » de certaines activités en offrant la possibilité aux acteurs économiques de choisir le droit qui leur sera opposable.

25 - Citation du biologiste allemand Ernst Haeckel reprise par Pierre Aguess (2011)



III.3

Les figures temporelles des inégalités écologiques

Adaptabilité *versus* irréversibilité dans les systèmes écologiques

Le vivant comme le milieu physico-chimique sont mouvants, rien n'est jamais définitif. Toute intervention sur les systèmes écologiques devrait répondre à deux exigences : adaptabilité et réversibilité.


Adaptabilité, car le climat, les cycles biogéochimiques, les usages, les perceptions changent constamment. Les systèmes écologiques doivent donc « suivre ». Il en va de leur persistance, de leur évolution, et de la permanence des services qu'ils délivrent aujourd'hui ou de leur capacité à délivrer des services, éventuellement autres, plus tard. Réversibilité, car on peut se tromper au cours d'une intervention, on peut engendrer des dégâts ; et surtout, les intérêts des parties prenantes varieront au cours du temps, tout comme les progrès de la connaissance en écologie qui pourraient permettre de faire mieux plus tard en faisant autrement.

Pour certaines espèces dont la surexploitation menace la reproduction, la question de l'irréversibilité se pose mais jamais en termes de responsabilité en écologie, contrairement au droit qui s'appuie sur l'irréversibilité mesurée à l'échelle d'une ou deux générations. Par exemple, la pêche à la morue est une pression de sélection, qui a changé le génotype des morues (taille plus petite, reproduction retardée).

La suppression de la surpêche ne permet pas la remontée des stocks rapidement, on doit repasser par une phase évolutive nécessairement longue. A l'échelle humaine, il s'agit pratiquement d'un changement irréversible. La notion de réversibilité n'a évidemment de sens que si l'échelle de temps est précisée. La dégradation d'un système écologique pourrait toujours sembler réversible car après toute perturbation se réinstallent plus ou moins rapidement des êtres vivants qui rétablissent des réseaux d'interaction dynamiques entre eux et avec leur milieu physico-chimique. Toutefois, la diversité et la complexité de ces nouveaux systèmes est toujours différente de ce qu'elle était précédemment. Il en va de même pour la trajectoire que ces systèmes vont suivre : un écosystème est toujours unique et sa destruction est par conséquent toujours irréversible.

On peut être plus nuancé en ce qui concerne les services. La perte d'un service passe par un changement fort, voire un blocage, de la trajectoire suivie par l'écosystème et donc par un amoindrissement irréversible à échelle humaine du potentiel de services. En revanche, une gestion de l'écosystème visant l'optimisation d'un ensemble de services repose en général sur un simple accompagnement des





dynamiques spontanées de l'écosystème, ce qui préserve une large gamme de trajectoires et de services potentiels associés. La situation est analogue à celle des ressources naturelles dites renouvelables : la durabilité


des services comme la préservation des services futurs repose en grande partie sur le degré d'intensification des services actuels, créant de fait un lien temporel fort entre les générations.

La question du choix social intertemporel

Faut-il agir contre la hausse des températures dès maintenant ou remettre à plus tard ? Avons-nous des obligations envers les générations futures ? Quelle est la forme et le contenu de ces obligations ? Le nombre et l'identité des bénéficiaires doivent-ils être envisagés comme des paramètres, ou faut-il les considérer comme endogènes à la réflexion éthique ? La théorie du choix social intertemporel s'efforce de répondre à ces questions.

Elle comporte plusieurs volets. Le plus opérationnel est peut-être celui qui s'interroge sur la valeur à donner au taux d'escompte social. Il s'agit de savoir, pour les projets publics dont les effets s'étalent sur un temps long, plusieurs décennies, ou plusieurs siècles, voire sur un horizon indéfini, comment comparer des avantages et des coûts qui surviennent à

des dates différentes et pour des générations différentes. Le taux d'escompte social permet de mettre en place un système de pondérations qui rend possibles de telles comparaisons. La pratique qui consiste à identifier le taux d'intérêt social au taux d'intérêt en vigueur sur les marchés n'est pas adaptée au problème. Par construction, elle conduit à négliger le sort des générations futures puisque les marchés synthétisent de l'information sur les préférences de leurs intervenants (les vivants) et ignorent forcément les aspirations de ceux qui n'existent pas (encore). Les experts défendent des alternatives, avec des taux d'autant plus faibles que l'horizon est long : entre 4% par an pour les investissements publics sur 30 ans et 2% au-delà de 60 ans. Le rapport Stern sur le changement climatique préconise un taux



Zone tampon
humide intégrée
au paysage.



de 1,4% (Stern, 2007). Mais il existe aussi des arguments militants, et éthiquement fondés, pour des taux négatifs !

Les volets plus théoriques du choix social intertemporel abordent deux questions centrales. La première est de savoir quel critère associer à des trajectoires alternatives, afin de choisir la meilleure d'entre elles. Un critère judicieux doit être construit sur des principes explicites de justice entre les générations (Roemer, 2011). Cette littérature délivre un message aussi important que frustrant : par exemple rechercher des trajectoires d'exploitation d'une ressource naturelle évite les gaspillages et ne peut se faire sans privilégier certaines générations. Cela conduit nécessairement à envisager des compromis entre efficacité (ou optimalité selon Pareto) et équité (Asheim, 2010). La pratique très répandue de l'actualisation évoquée plus haut, qui renonce évidemment à l'équité (procédurale), n'est qu'un seul des compromis possibles. D'autres alternatives existent et il est possible de leur donner corps lorsque les décisions sont prises dans des analyses coûts/

avantages qui s'appuient sur un taux d'intérêt social négatif.

La seconde question centrale de la littérature sur le choix social intertemporel est peut-être aussi la plus difficile. Elle concerne l'éthique des populations. Ici la taille et la composition des générations ne sont plus considérées comme des paramètres exogènes. Elles deviennent des objets d'étude à part entière (Blackorby et al., 2005). Potentiellement, les décisions énergétiques prises aujourd'hui peuvent affecter à la fois le nombre et la nature de nos descendants. En fonction des choix présents, certains individus futurs bénéficieront d'une santé et d'une espérance de vie différente selon les infrastructures de transports, l'évolution de la production agricole et l'espace écologique dont ils auront hérité. Et d'autres individus ne naîtront simplement jamais ; dès lors comment auraient-ils des exigences à opposer à la génération présente (problème de la non-identité) ? Les boussoles normatives dont nous disposons aujourd'hui pour aborder de telles questions accordent encore peu d'attention à la question des inégalités²⁶.

Introduire de nouveaux sujets du droit

Sous l'angle du droit, les injustices dans la dimension temporelle amènent à mobiliser les moyens juridiques existants, mais aussi à les dépasser.

Quels sont les moyens existants ? La justice pour les individus renvoie aux droits humains : le droit à la vie²⁷, le droit à la santé²⁸, le principe de non-discrimination et le droit à un environnement sain²⁹. Il existe aussi une justice pour les groupes vulnérables : femmes, enfant, communautés autochtones³⁰, immigrants. Les générations futures entrent également dans cette catégorie car elles ne peuvent s'exprimer et défendre leurs droits. Enfin il faut mentionner la justice pour la nature avec la reconnaissance en droit international de la valeur intrinsèque

de la diversité biologique³¹ ou de la nécessité de maintenir les processus écologiques essentiels à la subsistance³² qui atteste de la prise en considération d'une dimension non anthropocentrique.

Les questionnements concernant l'avenir de notre « civilisation » (Gaillard, 2008), voire de l'espèce humaine et/ou de l'humanité (la perspective n'étant pas la même sous l'angle juridique) sont tels, au tournant des années 1980, que l'approche en termes d'égalité/inégalités entre générations, auxquels renvoient les théories « classiques » de la justice, semble dépassée. Le droit tente de penser ce qui était jusqu'alors difficile à concevoir : les générations futures. Il faut intégrer dans les mécanismes

26 - A l'exception notable du critère utilitariste avec taux escompte dépendant du rang et niveaux critiques appliqué à des populations de tailles variables (Asheim et Zuber, 2012).

27 - Article 3 de la Déclaration des droits de l'homme, article 6 du Pacte international relatif aux droits civils et politiques.

28 - Droit de seconde génération qualifié de droit économique et social (Documents fondamentaux de l'OMS, Conférence de l'OMS, 1947 ; article 12 du Pacte international relatif aux droits économiques, sociaux et culturels, Charte sociale européenne révisée, 1996).

29 - Les déclarations de Stockholm et de Rio sur l'environnement et le développement, la Charte maghrébine pour la protection de l'environnement et le développement durable du 11 novembre 1992.

30 - Déclaration sur les droits des peuples autochtones adoptée par le Conseil des droits de l'homme le 21 juin 2006.

31 - Préambule de Convention sur la diversité biologique (1992).

32 - Charte mondiale de la nature adoptée et proclamée par l'Assemblée générale des Nations unies le 28 octobre 1982.

et concepts juridiques un « autre sujet » (ou un « autre » tout simplement) qui n'existe pas encore. Ces innovations s'expriment à travers l'idée de l'intérêt général de l'humanité et celle de droit des générations futures.

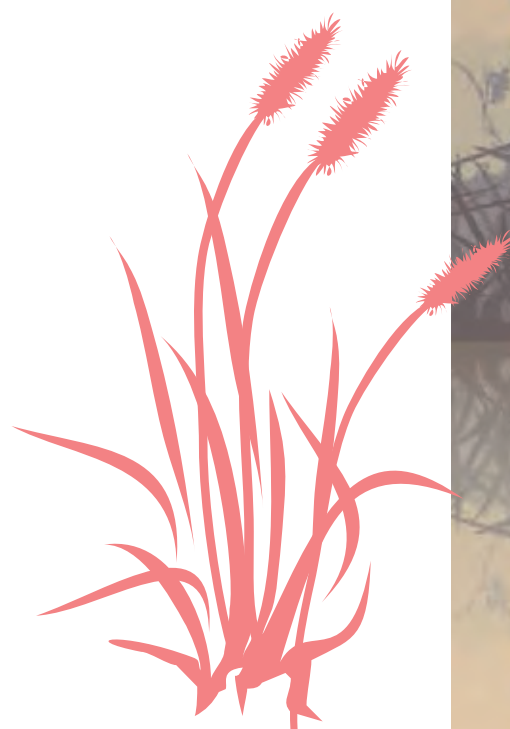
L'intérêt général de l'humanité

L'intérêt général repose sur les valeurs fondamentales d'une société, en l'occurrence la société internationale. Dans la mesure où celle-ci ne dispose pas d'autorité centrale, la reconnaissance de l'intérêt général résulte de traités et de règles coutumières et, de plus en plus souvent, de principes non obligatoires. Il ne peut être vraiment contesté que les obligations en matière d'environnement relèvent de l'intérêt général de l'humanité. La justice environnementale est tout simplement l'expression plus claire de l'intérêt général de l'humanité dans le domaine de l'environnement. L'importance que revêt ce concept est qu'il couvre à la fois une dimension spatiale (l'ensemble de la biosphère) et une dimension temporelle avec la reconnaissance des conséquences à long terme de la dégradation de l'environnement. L'intérêt général de l'humanité permet également de soutenir un partage équitable des responsabilités et des coûts liés à la protection effective de l'environnement.

Le droit des générations futures

L'expression du droit des générations futures connaît plusieurs formulations selon les textes. Selon la Déclaration de Stockholm de 1972 sur l'environnement, l'homme a le « devoir solennel de protéger, et d'améliorer l'environnement pour les générations présentes et futures ». Dans l'article 3.1 de la Convention cadre sur les changements climatiques « il incombe aux Parties de préserver le système climatique dans l'intérêt des générations présentes et futures ». Bien entendu, le contenu des droits de l'humanité future n'est pas défini mais l'association du droit (ou des droits) des générations futures

avec les objectifs de développement durable permet de considérer conjointement la préservation des droits économiques, sociaux, culturels et environnementaux. L'irréversibilité tient une place importante dans la protection du droit des générations futures, car elle permet de considérer la disparition définitive d'options de développement. Elle peut donc jouer un rôle déterminant dans la définition de la justice environnementale intergénérationnelle voire transgénérationnelle (Gaillard, 2012). La justice implique une recherche éthique qui pourrait se traduire, en droit, par le respect de l'intérêt des générations futures via des systèmes de représentation (*ombudsman*), de contentieux (recours pour protection du droit des générations futures), le renforcement de principes « anticipateurs » (principes de prévention et de précaution) et, plus largement, par des approches élargies du sujet de droit.





Quels moyens d'action pour lutter contre les inégalités environnementales ?

Compensation écologique

Le vivant est le grand fournisseur de services écosystémiques ; c'est aussi l'outil privilégié de la gestion et l'optimisation de ces services. Au cœur de l'ingénierie écologique, car potentiellement capable de croissance exponentielle, il peut modifier l'environnement sur de très grandes surfaces et très rapidement. Il donne par conséquent une efficacité et une responsabilité particulière à ceux qui en usent. En ce sens, l'ingénierie écologique des services écosystémiques, la restauration, peuvent être considérées comme une nouvelle forme de biotechnologie, qui pose les mêmes questions d'éthique et de droit que les biotechnologies basées sur le gène ou la cellule.

La compensation (non financière) renvoie à la question de l'équivalence écologique mais il n'est pas toujours possible, ou souhaitable, de rétablir une situation antérieure. Pourquoi

serait-elle considérée comme meilleure ? Il est parfaitement envisageable de remplacer quelque chose de bon par quelque chose d'autre tout aussi bon. Mais, comment quantifier la valeur d'un écosystème ? Comment décider qu'un hectare de tel écosystème « vaut » deux hectares de tel autre ? Que faut-il prendre en compte ? Qui décide, dans l'intérêt de qui ?

Et l'appel au droit dans l'évaluation des services écosystémiques reste préoccupant s'il ne repose pas sur un dispositif de « valeurs » au sens éthique du terme. Il y a d'ailleurs urgence à développer l'aspect éthique de ces questions (chapitre I). Quand bien même l'écologie scientifique serait capable de contribuer à l'évaluation quantitative de la nature, y compris dans leur dimension monétaire, ce qui est loin d'être le cas aujourd'hui, la question de la juste répartition de ces services demeure.

Une justice environnementale basée sur un projet de société redimensionné dans le temps et l'espace

Un certain nombre de principes reconnus en droit international de l'environnement participe déjà de la mise en place de relations « équitables » entre les Etats, contribuant ainsi à favoriser l'émergence d'une forme de justice distributive entre les Etats comme le principe d'une utilisation équitable des ressources naturelles partagées³³. D'autres principes tentent d'intégrer des éléments de justice dans les relations internationales tels que :

- Le principe de responsabilités communes mais différenciées. Ce principe illustre l'idée d'une différenciation des responsabilités

entre les Etats pour prendre en considération des réalités économiques, écologiques et sociales et leur responsabilité historique dans les perturbations des équilibres naturels (Michelot, 2010).

- Le principe de coopération internationale/ égalité de traitement. Ce principe peut viser plusieurs obligations notamment l'information et la consultation dans les relations transfrontières et l'assistance en cas de catastrophe écologique. La justice environnementale se définirait par l'égalité de traitement entre les Etats.

33 - Principe que l'on trouve affirmé dans le cadre de l'utilisation des cours d'eau internationaux (articles 5 et 6 de la Convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation, 1997).



Perspectives interdisciplinaires

Nos disciplines disposent d'instruments et de points d'entrée sur la justice environnementale assez différents. L'objet de la recherche n'étant pas le même, les enjeux sociétaux ne pèsent pas de la même façon dans les approches déployées par les écologues en particulier. Les points de convergence entre le droit et l'économie se font plus naturellement et d'autant plus facilement si la perspective économique est ancrée dans le respect de valeurs éthiques qui imposent des choix de sociétés et des orientations économiques conformes à ces valeurs. L'écologie doit garder sa spécificité pour nous apporter le recul nécessaire sur l'appréhension d'enjeux qui dépassent le champ humain comme cela est le cas pour l'évolution du changement climatique

et ses impacts sur la biodiversité. Le danger le plus important est de contraindre l'écologie à entrer dans un format de court terme, dimensionné à l'échelle spatio-temporelle d'une génération humaine et soumis au règne du marché par la « grammaire » de l'échange imposé par le concept de services écosystémiques.

Les disciplines du droit et de l'économie ne peuvent atteindre des objectifs d'équité sans le soutien des autres disciplines, l'écologie comme la philosophie, qui doivent leur apporter les questionnements. Le droit et l'économie n'ont en effet pas vocation à exprimer des certitudes mais bien des perspectives pour être en adéquation avec un projet de société en phase avec les valeurs morales qui la sous-tendent et l'organisent.





IV MODÉLISATION, SCÉNARISATION ET AIDE À LA DÉCISION

Lionel Ragot (coordinateur), Karima Benzada, Marie-Pierre Camproux-Duffrène, Alexandra Langlais, Franck Lecocq, Michel Loreau, Sandrine Maljean-Dubois, Vincent Martinet, Hélène Morlon, François Salanié, Katheline Schubert



IV.1

Introduction

Les écologues, comme les économistes, font appel à la modélisation pour étudier et comprendre les processus et dynamiques de leur objet d'étude, et prédire son devenir. Les juristes quant à eux découvrent l'intérêt de cette modélisation, notamment en ce qui concerne l'information du public et l'aide à la décision. Les modèles permettent de représenter de façon simplifiée la réalité, ils sont indispensables lorsque celle-ci est complexe. Il est utile de décomposer la réalité en ses éléments constitutifs pour la comprendre. La biodiversité, les services écosystémiques et leurs relations avec l'activité économique entrent parfaitement dans cette catégorie. De façon schématique, les écologues s'attachent à modéliser le fonctionnement des écosystèmes dans un grand détail et les économistes incorporent ces travaux (souvent en

les simplifiant grandement pour ne retenir que quelques relations stylisées) dans leurs représentations de l'activité économique. Le but ultime des économistes est alors d'évaluer les coûts et les bénéfices de la conservation de la biodiversité et des services écosystémiques et de répondre à une question qui peut se résumer de la façon suivante : que faut-il conserver, pourquoi et comment ?

La modélisation en écologie a pour objectif de comprendre les écosystèmes et de prédire leur devenir face aux changements. Il s'agit d'abord de répondre à des questions fondamentales telles que : d'où vient la biodiversité (évolution) ? Comment les communautés s'assemblent-elles (écologie des communautés) ? Comment les écosystèmes fonctionnent-ils (écologie des écosystèmes) ? Il s'agit ensuite de prédire l'effet



sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes de différents scénarios (par exemple, de gestion du territoire, d'augmentation des températures, de politiques de gestion des zones protégées). Certains des modèles développés en écologie servent plus particulièrement à comprendre (modèle neutre en génétique des populations, modèle neutre de la biodiversité, théorie métabolique de la biodiversité), tandis que les autres servent plus particulièrement à anticiper le futur (modèle de distribution d'espèces) ; certains servent à comprendre et à anticiper (modèles de réseaux d'espèces, modèles macroécologiques, relations diversité/fonction).

La modélisation en économie ajoute une question économique, dont la nature dépend de l'approche, positive ou normative, retenue. Du point de vue positif, les économistes se demandent quels sont les impacts de l'activité économique sur la biodiversité et les services écosystémiques et quelles sont, en retour, les conséquences des altérations de la biodiversité et des services écosystémiques sur l'homme et ses activités. L'approche normative est très différente. Elle consiste à se donner un objectif, une fonction de bien-être social, qu'il s'agit de maximiser en jouant de façon appropriée sur les variables qu'il est possible de contrôler. Supposons par exemple que le bien-être social est élevé quand les individus disposent d'un niveau de consommation élevé et d'un environnement de qualité. La qualité de l'environnement recouvre en particulier un haut niveau de biodiversité et des services écosystémiques non dégradés. Il s'agit alors de déterminer la façon d'augmenter le bien-être en arbitrant entre une consommation plus élevée (qui peut entraîner une diminution de la biodiversité) et la

protection de la biodiversité. Pour réaliser ces arbitrages et prendre en compte le fait que la biodiversité et les services écosystémiques ont une valeur, même si elle est non marchande, les économistes sont alors amenés à introduire des prix fictifs reflétant cette valeur (chapitre 1). Comprendre ce que sont ces prix et comment ils se forment est l'un des aspects centraux de cette approche normative. C'est en effet cette valorisation qui est utilisée pour calibrer les instruments de politique économique permettant d'atteindre la situation optimale, au sens du bien-être social retenu.

Il est difficile, et il peut même paraître artificiel, de mettre sur le même plan la modélisation en écologie et en économie d'une part et la modélisation en droit d'autre part. Le terme « modèle » lui-même prend des significations différentes d'une discipline à l'autre.

La modélisation en droit est faiblement développée. Elle pourrait intégrer des éléments juridiques dans la scénarisation et la théorisation d'un système ou dans l'élaboration d'outils d'aide à la décision (exemple de la modélisation de la gestion intégrée de certains espaces naturels protégés). Le droit aide à la formulation des objectifs (que doit-on préserver ?) introduits dans les modèles interdisciplinaires. Il fixe les cadres réglementaire et institutionnel au sein desquels évoluent les anthroposystèmes (droits de propriété, instruments des politiques publiques, outils économiques). Le droit et les données juridiques peuvent ainsi enrichir des modèles environnementaux, de même que ceux-ci peuvent jouer un rôle dans l'aide à la décision, au sens large, et la définition de règles juridiques (législations, contrats, documents d'objectifs...).



IV.2

Un savoir-faire disciplinaire

Les modèles ne manquent pas en écologie. Loin de ne servir qu'à la scénarisation de la biodiversité ou comme outil d'aide à la décision, ils ont historiquement été développés, et restent principalement utilisés, comme outil de compréhension : ils fournissent des prédictions qui peuvent ensuite être testées empiriquement ou expérimentalement. Les modèles en écologie sont aussi parfois utilisés comme outil d'estimation (par exemple, pour estimer le nombre d'espèces dans une région donnée ou sur terre). Les différents modèles entrent dans plusieurs grandes catégories, allant des modèles statistiques, phénoménologiques, aux modèles mécanistes, et des modèles déterministes aux modèles stochastiques.

Bien que le but premier des grands modèles de l'écologie n'ait pas été celui d'anticiper le futur, ceux-ci se sont trouvés particulièrement utiles pour la scénarisation. Par exemple, les modèles de dynamique des populations initialement développés pour comprendre le comportement cyclique de certaines populations peuvent être utilisés pour anticiper la fluctuation des tailles de population dans un objectif de conservation. De même, les modèles de génétique des populations permettent d'optimiser la conservation de la diversité génétique. Une des théories fondatrices des modèles de biodiversité est la théorie de la biogéographie insulaire de MacArthur et Wilson (1967). Celle-ci vise à expliquer le nombre d'espèces sur une île comme un équilibre dynamique entre colonisation et extinction et génère une suite de développements permettant de modéliser comment le nombre d'espèces augmente avec l'aire géographique disponible, et donc d'estimer la perte de biodiversité liée à la perte d'habitat (Pimm et Raven, 2000). Un autre grand volet de la modélisation en écologie, la modélisation des réseaux d'interaction, permet de fixer des quotas de pêche, d'anticiper la répercussion de la variation de la taille d'une population sur l'ensemble d'un réseau, ou encore d'anticiper des cascades d'extinction.

Le recensement et la synthèse des travaux scientifiques français de scénarisation de la biodiversité (Fondation pour la recherche sur

la biodiversité, 2013) mettent clairement en évidence plusieurs faits marquants (qui ne sont pas spécifiques à la recherche française) : 90% de ces travaux étudient la biodiversité à travers les espèces. Ils se concentrent sur une échelle locale ou nationale à 60% (seuls 7% se situant à l'échelle planétaire), 55% ont un horizon temporel de projection supérieur ou égal à 50 ans (dont 10% supérieur à 100 ans). Enfin, plus de 90% de ces travaux s'appuient sur des modèles : modèles statistiques (63%, essentiellement des modèles de niche), modèles mécanistes (13%), modèles bio-économiques (7%) et modèles multi-agents (7%).

Cependant, dans leur grande majorité, ces modèles n'intègrent ni les répercussions sur la sphère économique, ni l'impact des pressions humaines sur ces dynamiques.

Historiquement, les économistes se sont d'abord intéressés aux biens et services provenant de la nature qui pouvaient être directement consommés ou utilisés comme biens intermédiaires dans les processus productifs : énergies fossiles, minerais, bois, poissons... Ces travaux ont donné naissance à l'économie des ressources naturelles. En précurseur, Faustmann (1849) s'est intéressé à la gestion des forêts, puis Gordon (1954) et Schaeffer (1957) ont développé un modèle d'exploitation d'une ressource halieutique. Ces travaux ne s'intéressent pas directement à la biodiversité, mais plutôt à une espèce, ou au mieux quelques espèces au sein de leur habitat. Ils sont emblématiques de la façon dont procède la modélisation « bioéconomique » : ils couplent une dynamique écologique (la loi d'évolution de la population considérée) et une dynamique économique (la loi d'évolution d'une variable économique d'intérêt, comme le profit associé à l'exploitation de la ressource). Sur le plan positif, l'accent est souvent mis sur les droits de propriété vis-à-vis de la ressource (accès libre ou propriété commune, par opposition à la propriété privée habituelle pour les biens manufacturés) et sur le mode de gestion qui en découle. Les modèles permettent alors d'examiner les conséquences sur la ressource de modes de gestion particuliers et de



proposer/tester/évaluer des modes de gestion alternatifs. Sur le plan normatif, ces travaux étudient la gestion optimale (au sens d'un critère de bien-être à définir) de la ressource³⁴. Le point intéressant est que ce type de modèle permet d'obtenir une valeur/un prix implicite (par opposition à un prix de marché) des services non marchands fournis par la ressource, et un prix implicite (une rente de rareté) associé à son caractère épuisable, et d'explicitier les déterminants de ces valeurs et de leurs évolutions. Ces valeurs permettent à leur tour de calibrer les instruments de politique publique (normes, taxes, quotas transférables...) qui permettent de gérer les ressources de façon optimale. Il faut noter que sur le plan de la modélisation

écologique les économistes restent souvent très en deçà de ce que font les écologues en termes de complexité des dynamiques de population, afin de pouvoir étudier de façon analytique les propriétés de leurs modèles et obtenir des enseignements généraux. Cependant, les modèles récents sont de plus en plus sophistiqués sur le plan de la dynamique de la population : ils introduisent par exemple une structure démographique en classes d'âge (Tahvonen, 2009) ou des espèces multiples soumises à des interactions biologiques. Les progrès sont également importants sur le plan de la modélisation explicite de la dimension spatiale³⁵, permettant de prendre en compte les effets de la fragmentation des habitats.



FOCUS IV.1

Régulation économique de la biodiversité

Jusqu'ici, l'action publique en matière de biodiversité a surtout emprunté la voie administrative des autorisations et des interdictions, qu'il s'agisse de changements dans le régime des eaux, de l'emploi de pesticides, ou d'ouverture d'un parc naturel. Pour aller plus loin, il faut trouver les moyens d'inciter des agriculteurs, des producteurs, des ménages, à préserver la biodiversité, mais cela soulève plusieurs difficultés.

La première est simplement que la notion de biodiversité pose des problèmes de définition et de mesure. L'invention des services écosystémiques fournit une assiette plus ou moins mesurable, ce qui mène à l'idée d'asseoir sur cette assiette des instruments économiques comme les taxes et les subventions. Mais il est très difficile d'équilibrer un tel bouquet de subventions : à la limite, payer un propriétaire de forêt pour le seul captage du CO₂ risque de l'amener à n'exploiter qu'une espèce d'arbre, diminuant ainsi la biodiversité.

En revanche, on subventionne couramment des équipements ou des technologies dont l'emploi est observable (épurateurs...). Les mesures agri-environnementales de la Politique agricole commune offrent ainsi des subventions publiques pour de tels choix. Ces subventions vont effectivement aux agriculteurs pour qui le coût de tels choix est le moindre, ce qui est positif en termes d'efficacité ; néanmoins, il est très difficile de cibler les subventions sur les exploitations qui ont le plus grand impact sur la biodiversité.

Au fond, la difficulté principale est que jusqu'ici ces interventions sont construites sur la base d'un contrat entre un agent et une agence publique. On sait aujourd'hui, grâce à la théorie économique (normative) des contrats et des incitations³⁶, construire ce contrat de façon à tenir compte de l'opportunisme de l'agent, ou du fait qu'il connaît mieux que l'agence ses coûts de production. En revanche, le caractère crucialement spatial de la biodiversité plaiderait plutôt pour des contrats collectifs, impliquant l'ensemble des acteurs d'une région ou d'un bassin.

34 - Pour un aperçu représentatif de ce type de travaux, voir l'ouvrage classique de Clark (1990).

35 - Voir par exemple dans la série de travaux initiée par Sanchirico et Wilen leurs articles de 1999 et 2005, et Smith et Wilen (2003).

36 - Dite aussi "nouvelle économie de la régulation" (Laffont, 1994).



Observatoire du chêne pubescent en zone protégée en Haute-Provence
Au second plan, une des coupoles de l'Observatoire de Haute-Provence du CNRS où l'O3HP est installé depuis 2009.

Une approche plus englobante consiste à reconnaître que les populations biologiques et la population humaine sont concurrentes dans l'appropriation de l'espace. Les travaux de ce type modélisent les conflits d'usage des sols, entre les populations biologiques et les activités humaines, (principalement agriculture, étalement urbain et emprise des infrastructures). L'accent est mis sur la façon dont la pression humaine modifie ou détruit les habitats naturels et les conséquences de cette pression sur la biodiversité (focus IV.2). Là aussi l'aspect spatial est primordial et demande un effort de modélisation particulier³⁷.

Les modèles de ressources naturelles sont le plus souvent des modèles dynamiques, couplant une dynamique biologique et une dynamique économique. A ce titre, sur le plan des outils, ils recourent massivement à l'optimisation dynamique. Les théories des jeux et des contrats (focus IV.1) sont également mobilisées dès lors qu'il s'agit d'étudier les inter-actions stratégiques entre différentes catégories d'acteurs qui veulent s'approprier la ressource. En particulier, la théorie des jeux évolutionnaires (Weibull, 1997) permet de modéliser l'évolution de ces comportements stratégiques lorsque ceux-ci sont transmis de génération en génération et sont ainsi exposés aux lois de la sélection naturelle. Des avancées ont également été réalisées en s'appuyant sur les jeux différentiels.

Les ressources naturelles sont également un champ d'application privilégié de la théorie de la viabilité. Cette théorie renverse en quelque

sorte l'analyse. L'objectif n'est plus de définir la trajectoire optimale selon une fonction d'objectif particulier, mais d'étudier la compatibilité de la dynamique d'un système et d'un ensemble de contraintes, usuellement représentées par des indicateurs et des seuils qu'ils ne doivent pas franchir. Cette approche permet de définir non plus une trajectoire optimale, mais un ensemble de trajectoires viables (et les décisions associées) au sens où elles respectent l'ensemble des contraintes à toute période (Béné et *al.*, 2001 ; Martinet et *al.*, 2007).

En sciences juridiques, il est possible de partir de l'idée que la modélisation constitue une option méthodologique qui vise à réduire la complexité du monde réel, tout en permettant de simuler des relations entre variables et d'obtenir des résultats qu'il serait difficile d'obtenir de manière purement discursive (Petit, 2009). Elle peut aussi permettre de concevoir des symboles et des modèles permettant de représenter un phénomène donné « complexe » (physique, biologique, écologique, juridique, économique...) dans le but de sa compréhension. La modélisation du droit ne peut ni remplacer le choix socio-politique de la décision ou de l'utilisation de tel ou tel mécanisme, ni permettre d'interpréter la législation. « La machine n'est pas prête de remplacer l'homme et il faudra se garder de déléguer la tâche de rendre une décision à un système expert. Mais il n'est pas interdit d'y avoir recours comme aide à la décision, un outil parfaitement utile justement par les questions qu'il pose » (Sirinelli, 2005).

37 - Voir l'article au titre évocateur *Where to put things ?* de Polasky et *al.* (2008).



FOCUS IV.2

Biodiversité : modélisation et interdisciplinarité

Les questions de préservation de la biodiversité demandent des réponses interdisciplinaires. Une telle approche interdisciplinaire entre économistes et écologues est primordiale lorsque la dynamique de la biodiversité est influencée, de manière positive ou négative, par les décisions d'agents économiques, ou lorsqu'il s'agit de définir ou d'évaluer des politiques publiques visant à préserver la biodiversité. En dépit de l'importance de telles collaborations, celles-ci représentent un défi scientifique et ne sont pas aisément mises en place. Pour que de telles études interdisciplinaires aboutissent, il faut en effet qu'économistes et écologues partagent plus qu'un sujet d'étude commun. Un levier important dans la mise en place des collaborations est celui de la méthodologie, comme l'illustrent les exemples de travaux récents qui montrent que les écologues et économistes partagent en effet certains outils, comme ceux de la modélisation.

En dépit d'exemples prometteurs, il faut souligner que de tels travaux interdisciplinaires sont encore trop rares au regard de la demande sociale sur ces questions. La tendance est cependant orientée dans la bonne direction, et de nombreux projets interdisciplinaires sont désormais financés par les instituts ou les agences de moyens. Ces projets permettent aux participants des différentes disciplines de se forger une culture commune, qui sera le socle de l'interdisciplinarité de demain.

Exemples de travaux interdisciplinaires

Les problématiques liées à l'agroécologie sont un bon exemple. La préservation de la biodiversité dans les agro-écosystèmes est très liée aux pratiques agricoles et aux enjeux sociétaux de production alimentaire et de réduction de la pollution par un usage excessif de produits phytosanitaires. La perte et la fragmentation des habitats naturels sont les principales causes de l'érosion de la biodiversité. L'agriculture représente l'utilisation des sols majoritaire en Europe et les paysages agricoles européens abritent une part importante de la biodiversité européenne. Cette biodiversité a dramatiquement été réduite suite à l'intensification agricole des quarante dernières années. Les paysages agricoles sont le résultat des décisions dynamiques d'usage des sols de nombreux acteurs privés. Dans ce contexte, il n'est pas possible d'utiliser l'approche standard de « mise en réserve publique » pour préserver la biodiversité. Il faut alors définir des politiques agro-environnementales incitatives pour modifier les décisions individuelles des agriculteurs. Évaluer l'efficacité de ces politiques et leur coût est primordial lorsque l'on sait que la plupart des mesures existantes n'ont eu qu'un effet modéré, voire négatif (Kleijn *et al.*, 2001, 2006). Le travail réalisé par Barraquand et Martinet (2011) illustre comment économie et écologie peuvent se retrouver autour d'approches de modélisation compatibles et complémentaires. En utilisant un modèle écologique-économique, ils ont décrit les arbitrages entre production agricole et préservation de la biodiversité dans les agro-écosystèmes, et examiné l'effet de mesures agro-environnementales incitatives visant à préserver la biodiversité dans les paysages agricole. Les coûts d'une mesure et son efficacité écologique peuvent alors être mis en regard.

L'utilisation conjointe de données économiques, biogéographiques et écologiques constitue une autre clé d'entrée vers l'interdisciplinarité. Les travaux de Ay *et al.* (2014) en sont un bon exemple. Leur cadre d'analyse intègre à la fois des projections climatiques, des modèles d'allocation des sols (incluant usages forestiers, agricoles et urbains) et les données de Suivi temporel des oiseaux communs (STOC) en tant qu'indicateur de biodiversité, à l'échelle française. Ils l'utilisent pour évaluer l'impact des politiques incitatives de préservation à l'échelle de plusieurs décennies. La multiplication des données récoltées et disponibles (*big data*) va fortement favoriser ce type de travaux dans les années à venir.

S'orienter vers de nouveaux enjeux pluridisciplinaires

L'enjeu aujourd'hui pour la modélisation des enjeux économiques liés à la biodiversité est de passer à une approche encore plus globale, plus macroéconomique, qui pourrait permettre de faire pour la biodiversité le même type d'exercice de modélisation et de scénarisation que ce qui est fait pour le réchauffement climatique.

Notons que les causes du réchauffement climatique sont assez faciles à représenter formellement dans un modèle : ce sont les émissions de gaz à effet de serre produites principalement par les énergies fossiles utilisées dans les différentes activités économiques. Les conséquences du réchauffement, c'est-à-dire les impacts négatifs sur l'environnement, l'activité économique et le bien-être, sont beaucoup plus complexes et disparates. Les modèles les plus simples les représentent de façon agrégée par une fonction de dommages. Les modèles les plus élaborés utilisent un modèle climatique sophistiqué (modèle de cycle du carbone) couplé au modèle économique pour évaluer ces conséquences. Les modèles les plus intégrés, souvent utilisés pour les scénarios du changement climatique, ne se limitent pas à une collaboration entre climatologues et économistes, ils étendent la pluridisciplinarité aux sciences de l'ingénieur (importance des technologies d'atténuation et/ou d'adaptation), aux sciences de la nature (agronomie, écologie), aux sciences de la terre (cycle de l'eau) et à d'autres disciplines émanant des sciences humaines et sociales (focus IV.3). Intégrer les causes et les conséquences des pertes de biodiversité dans un modèle macroéconomique est beaucoup moins immédiat, car la biodiversité est complexe et hétérogène et interagit avec les sociétés selon des modalités et à des échelles spatiales multiples. Le champ de recherche le plus prometteur, mais aussi le plus risqué, pour les travaux futurs se situe très probablement là.

La difficulté se situe principalement à la conjonction de l'échelle spatiale et de l'échelle de la biodiversité. Nous avons vu que les travaux de modélisation et de scénarisation actuels en écologie prennent très majoritairement l'espèce comme niveau d'étude de la biodiversité en se situant essentiellement à une échelle locale

ou régionale. La modélisation économique n'échappe pas à ce constat, elle ne prend pas réellement en compte les interactions écologiques, ou alors seulement de façon très sommaire et, sur le plan économique, raisonne en équilibre partiel. L'enjeu est clairement de passer à des modèles d'équilibre général, aussi bien sur le plan écologique que sur le plan économique. Sur le plan écologique, au-delà de la gestion de telle espèce et de l'organisation de l'espace, il est essentiel d'adopter une approche écosystémique permettant d'analyser la biodiversité dans son ensemble. Sur le plan économique, il s'agit de reconnaître que les services écosystémiques n'ont pas seulement un intérêt sectoriel (agriculture, santé...) mais qu'ils remplissent des fonctions globales qui font que leur perte a des conséquences macroéconomiques. La disparition du service de pollinisation fourni par les abeilles en Chine est un problème sectoriel, mais d'autres disparitions auront des conséquences globales. Dit autrement, la biodiversité est à la fois un bien public local, dans son détail, mais également un bien public global, dans son ensemble. La tâche n'est pas aisée pour les économistes, car pendant longtemps la modélisation a négligé la dimension spatiale, et il leur est demandé d'élaborer des modèles multi-échelle (prise en compte simultanée d'une dimension locale et globale). Cette question spatiale n'est pas indépendante de celle portant sur le niveau de biodiversité modélisé. La solution la plus simple, du point de vue économique, mais pas la plus pertinente, serait de modéliser un indice agrégé de biodiversité. Les écologues se posent alors la question de sa définition, de la modélisation de son évolution au cours du temps (en intégrant les facteurs de changement liés à la sphère socio-économique). Les économistes s'interrogent plutôt sur son impact sur la sphère économique (tant sur l'activité économique que sur le bien-être). L'alternative consistant à garder une hétérogénéité multiplie ces questions méthodologiques par le nombre d'espèces et de services écosystémiques représentés ; il faut également ajouter la question de la modélisation des interactions entre espèces, entre services écosystémiques et entre écosystèmes ; les échelles spatiales peuvent varier d'une espèce à une autre et d'un



service à l'autre. Dans bien des cas, toutefois, cette approche désagrégée risque d'être nécessaire pour aboutir à des prédictions et à des recommandations pertinentes.

La tâche s'avère indéniablement beaucoup plus complexe que celle qui a débouché sur la construction de modèles intégrés pour analyser le changement climatique. Mais la stratégie méthodologique employée peut à nouveau être suivie dans le cadre des modèles

hybrides économie/écologie. Elle consiste à développer simultanément des modèles théoriques analytiques qui se concentrent sur une des questions posées et qui permettent de mieux comprendre les mécanismes et interdépendances en jeu, et des modèles intégrés appliqués de grande taille qui servent aux travaux de scénarisation et de projections. Les résultats des premiers sont indispensables pour développer et comprendre les résultats des seconds.

FOCUS IV.3

Expérience de la pluridisciplinarité dans le champ de l'analyse du changement climatique

L'analyse intégrée du changement climatique, de ses conséquences et des actions susceptibles d'en limiter les effets néfastes mobilise par nature des domaines de connaissance très variés : sciences de la terre et du climat, sciences économiques et sociales, sciences de l'ingénieur (pour la caractérisation technique des options de politiques climatiques d'atténuation et d'adaptation) ou encore sciences de la nature pour tout ce qui concerne les impacts sur et via les écosystèmes. Les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), par exemple, témoignent de cette diversité.

Ces différentes disciplines ne sont pas seulement intégrées en aval dans les différents travaux d'évaluation, mais elles le sont dès l'amont. La thématique climat a en effet suscité d'importants travaux pluridisciplinaires, qui constituent une part significative de la littérature comme en témoigne l'importance des revues thématiques, mais non disciplinaires, du champ (*Climatic Change*, *Nature Climate Change*, *Global Environmental Change*...). Ces travaux articulent en général deux ou trois des disciplines mentionnées plus haut,

autour d'un objet particulier (par exemple, le futur de la gestion des barrages sous contrainte climatique).

En pratique, la modélisation est l'un des lieux majeurs où l'articulation se réalise. Dans le domaine de l'atténuation, l'accent a historiquement été mis sur le dialogue entre visions « d'économistes » *top-down* et visions « d'ingénieurs » *bottom-up* des systèmes énergétiques, avec une ouverture progressive vers d'autres secteurs (industrie, agriculture et foresterie, transport, systèmes urbains...). Dans le domaine de l'étude des impacts et des mesures d'adaptation, une panoplie de modèles spécialisés articulent sciences de la terre (par exemple, le cycle de l'eau), sciences de la nature (par exemple, agronomie) et aussi sciences humaines et sociales (par exemple, la gestion de l'eau).

Il existe encore peu d'outils intégrant à la fois les dimensions d'atténuation et les dimensions d'impact et d'adaptation, mais ce front de recherche progresse rapidement, à la fois pour réfléchir à l'évaluation intégrée des politiques climatiques, mais aussi pour faire le lien avec d'autres dimensions du changement global, et en particulier les menaces pesant sur la biodiversité.

La discipline juridique doit également participer à cette exigence de réponses interdisciplinaires relatives à la préservation de la biodiversité. Elle partage avec l'écologie et l'économie ce même objet d'étude, mais également un besoin d'identifier, de comprendre, voire d'anticiper, pour appréhender l'incertitude et la complexité entourant la préservation de la biodiversité. Ce besoin commun peut se traduire par la modélisation pour l'écologie et l'économie. Si la terminologie n'est pas usitée en droit, la modélisation dans

sa logique n'est pas étrangère à la construction du système juridique. En effet, dans chacune des disciplines, y compris celle juridique, la préservation de la biodiversité évolue dans une réalité représentée. Pour autant, la modélisation dans le cadre de la préservation de la biodiversité est plutôt conçue comme un outil extérieur à l'approche juridique. Les fruits d'une approche interdisciplinaire relèvent de la confrontation de ces réalités représentées permettant à chaque modèle de se perfectionner. Cette mise en

interdisciplinarité devrait permettre de mettre en exergue les défaillances de chacun d'entre eux. En particulier, le découpage opéré en écologie pour élaborer un système tel que l'écosystème peut être critiquable dans ses limites spatiales. De même, le caractère dynamique de la biodiversité s'accorde mal avec la logique binaire des catégories juridiques. Par ailleurs, la modélisation économique et la discipline juridique ont en commun l'intérêt pour l'humain dans leur modèle, bien que leur finalité diverge en raison notamment de la dimension performative du droit. Toutefois, elles placent au cœur de leur approche la rationalité décisionnelle, enjeu de modélisation que peuvent discuter l'économie et le droit en interaction avec l'écologie. La combinaison de ces approches aurait le mérite de réfléchir à la complexité des écosystèmes mais aussi à celle des choix. C'est à ce niveau que la modélisation juridique dans le domaine de la biodiversité prend tout son sens. Des travaux théoriques (Arnaud, 1996) ont été amorcés en ce sens, appliqués à la protection intégrée de l'environnement (Teixeira Cavalcante, 2007) mais aussi plus pratiques (Benzada, 2014).

Nous voudrions noter pour finir, à la suite de Polasky et Segerson (2009), que le plus grand défi ne concerne peut-être pas la construction de modèles positifs alliant les travaux des économistes, des écologues et des juristes. Il réside plutôt dans la difficulté qu'il existe à définir un cadre de pensée accepté par ces trois disciplines. Par exemple, l'analyse normative est en effet loin du cadre de pensée des écologues, qui se refusent souvent à donner des valeurs aux biens et services non marchands et à accepter l'idée qu'il est nécessaire d'effectuer des arbitrages, alors que les arbitrages sont au cœur même de la pensée des économistes. Tant l'écologie que l'économie auraient tout à gagner à élargir leurs cadres de pensée respectifs, qui restent fortement ancrés dans le dualisme moderne de la séparation entre l'humain et la nature. En effet, l'écologie s'intéresse principalement aux systèmes naturels, les êtres humains y étant souvent considéré comme une contrainte extérieure (quoique l'écologie soit en train d'évoluer rapidement sur ce point, avec l'émergence de nouvelles disciplines telles que l'écologie urbaine), tandis que l'économie s'intéresse presque exclusivement aux sociétés humaines, la nature jouant le rôle de contrainte extérieure. Cette dichotomie se manifeste tout particulièrement dans les modèles théoriques des deux

disciplines. L'intégration consciente de l'homme dans la nature reste un défi majeur à relever, tant dans la théorie que dans la pratique.

Le développement de cadres partagés requerra un dialogue de longue haleine entre disciplines, une confrontation des points de vue sur des chantiers communs et une ouverture à des approches aux interfaces qui sortent des sentiers battus. L'hypothèse de rationalités des agents a longtemps opposé écologues et économistes. Les écologues mobilisent souvent l'analyse des systèmes dynamiques non-linéaires, la théorie des jeux (évolutionnistes) et la théorie des réseaux, tandis que les économistes considèrent des agents optimisateurs en théorie de l'équilibre général comme en théorie des jeux. De plus, la formation des anticipations et leur caractère auto-réalisateur jouent en rôle essentiel en économie diversement de l'écologie. Toutefois, des convergences multiples apparaissent à l'horizon. La théorie dynamique des réseaux séduit tout autant les économistes que les écologues, tandis que la notion de rationalité est de plus en plus critiquée au sein de la communauté des économistes. Quelques écologues et économistes ont commencé à élaborer des modèles théoriques de systèmes couplés homme-nature en incorporant des contraintes économiques simplifiées dans des modèles écologiques pour étudier le fonctionnement, la persistance et la résilience de ces systèmes sur le long terme. De telles initiatives sont à encourager également dans les travaux de scénarisation et de projection. Le sens et les modalités de la modélisation en droit demeurent des questions ouvertes et fort intéressantes pour des recherches futures. A l'instar du succès de la recherche juridique en droit de la concurrence inspirée par les travaux d'économie industrielle basés sur la théorie des jeux, on pourrait s'interroger sur l'opportunité d'appliquer par exemple la théorie des contrats, ou des mécanismes d'incitation, à l'économie publique de la biodiversité afin de doter les théoriciens du droit de modèles mathématiques qui explicitent les conséquences sur les actions des agents des nouvelles normes et des contraintes juridiques plus généralement.



RÉFÉRENCES

- Aguess P. (2011). *L'écologie : science ou politique ?* Persée.
- Arnaud A. J. (1996). Modélisation de la décision complexe en droit. Quelques pistes de recherche. *Cahiers du CIRESS* 2, 7-28.
- Asheim G. B. (2010). Intergenerational equity. *Annual Review of Economics* 2(1), 197-222.
- Asheim G. B. et Zuber S. (2012). Justifying social discounting: The rank-discounted utilitarian approach. *Journal of Economic Theory* 147(4), 1572-1601.
- Ay J.-S., Chakir R., Doyen L., Jiguet F. et Leadley P. (2014). Integrated models, scenarios and dynamics of climate, land use and common birds. *Climatic Change* 126(1-2), 13-30.
- Barraquand F. et Martinet V. (2011). Biological conservation in dynamic agricultural landscapes: Effectiveness of public policies and trade-offs with agricultural production. *Ecological Economics* 70(5), 910-920.
- Béné C., Doyen L. et Gabay D. (2001). A viability analysis for a bio-economic model. *Ecological Economics* 36, 385-396.
- Benzada K. (2014). *Base de donnée et cartographie juridiques, deux outils d'aide à la décision pour une gestion intégrée des espaces naturels*. Thèse en droit, Université de Strasbourg.
- Blackorby C., Bossert W. et Donaldson D. J. (2005). *Population Issues in Social Choice Theory, Welfare Economics, and Ethics*. Cambridge University Press.
- Boudon R. (1999). La « Rationalité axiologique » : une notion essentielle pour l'analyse des phénomènes normatifs. *Sociologie et sociétés* 31(1), 103-117.
- Brown-Weiss E. (1993). *Justice pour les générations futures*. Le sang de la terre, UNESCO.
- Bullard R. D. (1990). *Dumping in Dixie: Race, Class and Environmental Quality*. Westview Press Boulder.
- Chevassus-au-Louis B., Salles J.-M., Pujol J.-L., Bielsa S., Martin G. et Richard D. (2009). *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*. La Documentation Française et Centre d'Analyse Stratégique, Paris.
- Clark C. (1990). *Mathematical Bioeconomics*. Wiley, New York.
- Costanza R., de Groot R., Sutton P., van der Ploeg S., Anderson S. J., Kubiszewski I., Farber S. et Turner R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26, 152-158.
- Delmas Marty M. (2006). *Le pluralisme ordonné*. Seuil.
- Dworkin R. (1981). What is equality? Part 2: Equality of resources. *Philosophy and Public Affairs* 10 (4), 283-345.
- Emelianoff C. (2007). La problématique des inégalités écologiques, un nouveau paysage conceptuel. *Écologie et Politique* 35, 19-17.
- Faith D. P., Magallón S., Hendry A. P., Conti E., Yahara T. et Donoghue M. J. (2010). Ecosystem services: an evolutionary perspective on the links between biodiversity and human well-being. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2, 66-74.
- Faustmann M. (1849). Berechnung des Werthes, welchen Waldobten, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst und Jagd-Zeitung*, 441-455.
- Fisher B., Costanza R., Turner R. K. et Morling P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68(3), 643-653.
- Fleurbay M. (1995). Equality and responsibility. *European Economic Review* 39, 683-689.
- Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (2013). *Scénarios de la biodiversité : un état des lieux des publications scientifiques françaises*. Rapport d'expertise et de synthèse.
- Gaillard S. E. (2008). *Génération futures et droit privé*. Thèse en droit, Université d'Orléans.
- Gaillard S. E. (2011). *Génération futures et droit privé*. Vers un droit des générations futures. LGDJ.
- Gaillard S. E. (2012). L'équité transgénérationnelle : perspectives de justice pour les générations futures ? Dir. Michelot A., *Équité et environnement. Quel(s) modèle(s) de justice environnementale ?*, Larcier, Bruxelles.
- Gordon H. S. (1954). The economic theory of a common property resource: the fishery. *Journal of Political Economy* 62, 124-142.
- Jasanoff S. (2005). *Designs on Nature: Science and Democracy in Europe and the United States*. Princeton University Press.
- Jonas H. (1979). *Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*. Frankfurt am Main.
- Kleijn D., Baquero R. A., Clough Y., Diaz M., De Esteban J., Fernandez F., Gabriel D., Herzog F., Holzschuh A., Johl R., Knop E., Kruess A., Marshall E. J. P., Steffan-Dewenter I., Tscharntke T., Verhulst J., West T.M. et Yela J.L. (2006). Mixed biodiversity benefits of agri-environment schemes in five European countries. *Ecology Letters* 9, 243-254.
- Kleijn D., Berendse, F., Smit, R., and et Gillissen N. (2001). Agri-environment schemes do not effectively protect biodiversity in Dutch agricultural landscapes. *Nature* 413, 723-725.
- Kuemmerle T., Erb, K., Meyfroidt P., Müller D., Verburg P.H., Estel S., Haberl H., Hostert P., Jepsen M. R., Kastner T., Levers C., Lindner M., Plutzer C., Verkerk P.J., van der Zanden E. H. et Reenberg A. (2013). Challenges and opportunities in mapping land use intensity globally. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5 (5), 484-493.
- Laffont J. J. (1994). The New Economics of Regulation ten years after. *Econometrica* 62(3) 507-537.
- Larrère C. (2009). La justice environnementale. *Multitude* 2(36), 156-162.
- Lenton T. M., Held H., Kriegler E., Hall J. W., Lucht W., Rahmstorf S. et Schellnhuber H. J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *PNAS* 105(6), 1786-1793.
- Lenzen M., Moran D., Kanemoto K., Foran B., Lobefero L. et Geschke B. (2012). International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature* 486, 109-112.
- Martin G. (2008). Conclusions. Dir. Hervé-Fournereau N., *Les approches volontaires et le droit de l'environnement*, Presses Universitaires de Rennes.
- Martin V., Thebaud O. et Doyen L. (2007). Defining viable recovery paths toward sustainable fisheries. *Ecological Economics* 64(2), 411-422.
- MacArthur R. H. et Wilson E. O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Monographs in Population Biology 1, Princeton University Press.
- Michelot A. (2010). A la recherche de la justice climatique. Perspective à partir du principe de responsabilités communes mais différenciées. Dir. Cournil C. et Fabregoule C., *Changements climatiques et défis du droit*, Bruylant, Bruxelles, 183-212.
- Millennium Ecosystem Assessment (2003). *Ecosystems and Human Well-Being. A Framework For Assessment*. Island Press, Washington D.C..
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington D.C..
- Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2011). *Stratégie pour la biodiversité 2011-2020*. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/SNB_03-08-2012.pdf.
- OCDE (2004). *Biodiversité, eau et gestion des ressources naturelles*. <http://www.oecd.org/fr/env/ressources/biodiversite.htm>.
- Ost F. et Van de Kerchove M. (2002). *De la pyramide au réseau, pour une théorie dialectique du droit*. Publications des Facultés Universitaires Saint Louis, Bruxelles.

- Petit O. (2009). Développement durable et territoires. Dir. Hervé D. et Laloë F., *Modélisation de l'environnement : entre natures et sociétés*, Éditions Quae-NSS Dialogues, Collection Indisciplines, Paris, 2(3).
- Pimm S. L. et Raven P. (2000). Biodiversity: extinction by numbers. *Nature* 403, 843-845.
- Polasky S., Nelson E., Camm J., Scuti B., Fackler P., Lonsdorf E., Montgomery C., White D., Arthur J., Garber-Yonts B., Haight R., Kagan J., Starfield A. et Tobalske C. (2008). Where to put things? Spatial land management to sustain biodiversity and economic returns. *Biological Conservation* 141(6), 1505-1524.
- Polasky S. et Segerson K. (2009). Integrating ecology and economics in the study of ecosystem services: some lessons learned. *The Annual Review of Resource Economics* 1, 409-434.
- Rawls J. A. (1971). *A Theory of Justice*. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Roemer J. (2011). The ethics of intertemporal distribution in a warming planet. *Environmental & Resource Economics* 48(3), 363-390.
- Rowe G. C. (1999). *Environmental justice as an ethical, economic and legal principle*. Dir. Bosselmann K. et Richardson B. J., *Environmental Justice and Market Mechanisms - Key Challenges for Environmental Law and Policy*, International Environmental Law & Policy Series 54, Kluwer Law International, The Hague, London, Boston.
- Sanchirico J. et Wilen J. (1999). Bioeconomics of spatial exploitation in a patchy environment. *Journal of Environmental Economics and Management* 37, 129-150.
- Sanchirico J. et Wilen J. (2005). Optimal spatial management of renewable resources: matching policy scope to economic scale. *Journal of Environmental Economics and Management* 50, 23-46.
- Schaefer M. B. (1957). Some considerations of population dynamics and economics in relation to the management of marine fisheries. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 14, 669-681.
- Sen A. (1980). Equality of What? Dir. McMurrin S., *Tanner Lectures on Human Values* 1, Cambridge University Press.
- Shue H. (1992). The unavoidability of justice. Dir. Hurrell A. et Kingsbury B., *The International Politics of the Environment*, Oxford University Press, Oxford, 373-397.
- Simms A. (2005). *Ecological Debt - The Health of the Planet & the Wealth of Nations*. Pluto Press, London.
- Sirinelli P. (2005). Introduction. *L'innovation technologique*, Rapport annuel de la Cour de cassation.
- Smith M. D. et Wilen J. (2003). Economic impacts of marine reserves: the importance of spatial behavior. *Journal of Environmental Economics and Management* 46(2), 183-206.
- Stern N. (2007). *The Economics of Climate Change*. Stern Review. Cambridge University Press.
- Tahvonen O. (2009). Economics of harvesting age-structured fish populations. *Journal of Environmental Economics and Management* 58, 281-299.
- Teixeira Cavalcante A. R. (2007). *Éléments pour une ontologie juridique de la protection de la biodiversité*. Thèse en droit, Université de Limoges.
- Sukhdev P. (dir.) (2007). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2008-2011)*. <http://www.teebweb.org>.
- Weber M. (1919). *Wissenschaft als Beruf 1917/1919. Politik als Beruf 1919*.
- Weibull J. W. (1997). *Evolutionary Game Theory*. MIT Press.

GLOSSAIRE

Adaptation/Atténuation

L'atténuation est la réduction d'un phénomène observé (par exemple le réchauffement climatique ou la perte de la biodiversité). L'adaptation est l'ensemble d'actions entreprises par un système vivant ou social pour modifier sa performance ou son fonctionnement face à une modification de son environnement. Dans le cas des humains, l'adaptation consiste dans la réduction de leur vulnérabilité au phénomène (réduction des effets/symptômes sans réduction des causes). Le troisième rapport d'évaluation du GIEC définit l'adaptation comme la capacité d'ajustement des systèmes sociaux et écologiques « en réponse à des *stimuli* climatiques ou à leurs effets afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques ».

Anticipation

Représentation du futur ou, mieux, des futurs contingents à certains événements, parmi lesquels les décisions des agents. En économie, elles jouent un rôle essentiel en théorie des jeux, en macroéconomie et dans toutes les situations où les agents prennent des décisions dont les effets conditionnent plusieurs futurs possibles. On distingue habituellement les anticipations adaptatives, où le changement de l'anticipation est proportionnelle à l'erreur de prévision observée, des anticipations rationnelles, où la prévision est l'espérance conditionnelle à l'information présente. La récente constitutionnalisation de l'obligation de vigilance environnementale est une illustration majeure de la consécration de la logique d'anticipation en droit qui est consacrée à travers les principes de précaution ou d'actions préventives par priorité à la source.

Biodiversité

La Convention internationale sur la diversité biologique (1992) définit la diversité biologique comme la « variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres systèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ».

Compensation écologique

Mécanisme institutionnel qui oblige les promoteurs de projets ayant un impact significatif (la qualification varie selon les pays et les périodes)

à mettre en œuvre des mesures visant à neutraliser les pertes de biodiversité. En France et dans plusieurs autres pays, ce mécanisme se situe dans le cadre d'un triptyque « éviter-réduire-compenser » qui sous-entend que la mise en œuvre de la compensation n'intervient qu'après qu'un ensemble de mesures ont été prises en vue d'éviter les impacts et de les réduire.

Contrat social

Le contrat social est un contrat originaire entre les hommes par lequel ils acceptent une limitation de liberté en échange de lois garantissant la perpétuation du corps social. Le contrat social présuppose un état de nature avec lequel il rompt, état de l'humanité soustraite à toute loi, état préexistant à toute société organisée.

Généérations futures

Les générations futures sont les générations d'êtres humains qui viendront après les générations actuelles. Le développement durable est un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Concept philosophique au cœur de la responsabilité jonassienne (Jonas, 1979), le concept de générations futures est devenu un référentiel particulièrement diffusé en droit international de l'environnement, notamment par l'entremise de la notion de développement durable. Ce dernier vise à satisfaire un impératif de responsabilité et de protection tant à l'égard de l'humanité future, de l'humaine condition qu'envers l'environnement et des éléments du vivant. Autrefois reléguées à l'extérieur de l'univers juridique, les générations futures tendent à se diffuser et à saisir, au-delà du seul droit de l'environnement, le droit des droits de l'homme. Il se comprend à la lumière de l'impératif de protection de l'avenir et ne se résume pas à une approche anthropocentrique. Pour que l'avenir demeure ouvert, il importe de tenir tout autant en respect l'environnement dans une perspective systémique.

Équilibre/déséquilibre

En économie, la notion d'équilibre renvoie habituellement à l'idée d'égalisation entre offre et demande dans un système de marchés. Par opposition, le déséquilibre désigne des situations où l'offre et la demande ne parviennent pas à

s'égaliser : chômage ou surproduction en sont des exemples.

Équilibre partiel et équilibre général

L'analyse économique en équilibre partiel étudie le fonctionnement d'un marché, pris isolément, c'est-à-dire sans prendre en compte ses interactions avec les autres marchés (toutes choses égales par ailleurs). L'analyse en équilibre général étudie le fonctionnement de tous les marchés de l'économie pris simultanément, et leurs interactions.

Evaluation

Dans son sens général, c'est le processus par lequel une personne mobilise un ensemble de valeurs pour porter un jugement ou justifier un choix ou une action. Les évaluations économiques s'appuient sur un cadre conceptuel précis et formalisé et ont donné lieu au développement d'un ensemble de méthodes spécifiques. L'évaluation des incidences environnementales est une procédure liée à un processus décisionnel, consistant à mettre en perspective les résultats et les effets de la décision par rapport aux objectifs attendus et permettant d'intégrer des correctifs pour en éviter ou limiter les conséquences non recherchées. L'évaluation environnementale impose, de ce point de vue, d'éviter, de réduire et de compenser, lorsque cela est possible, les effets négatifs notables d'un projet sur l'environnement.

Externalités

Les externalités sont des phénomènes économiquement pertinents (affectants profit ou utilité) auxquels le marché ne donne pas de prix. Il s'agit d'imperfections de marché responsables d'une perte d'optimalité de l'équilibre général (voir la définition d'optimalité au sens de Pareto). On peut aussi concevoir les externalités, comme des coûts ou des avantages qui impactent un agent sans faire l'objet d'une compensation ou d'une autre forme de régulation. Dans ce cas, la notion d'externalité fait référence implicitement à une représentation de l'économie comme système régulé, au sein duquel elle caractérise un défaut de régulation.

Inégalités

La définition d'inégalité varie selon le domaine considéré. En sociologie, une inégalité est une

différence dans l'accès à des ressources sociales valorisées (y comprises les possibilités d'actions humaines : politique, économique, culturelle, sociale, sexuelle). Les inégalités économiques résultent d'une distribution inégale des ressources au sein d'une société.

Intérêt général

Intérêt supérieur qui constitue la finalité et la légitimation de l'action publique (focus III.2).

Intérêt général de l'humanité

L'intérêt général repose sur les valeurs fondamentales d'une société, en l'occurrence la société internationale. Dans la mesure où celle-ci ne dispose pas d'autorité centrale, la reconnaissance de l'intérêt général de l'humanité résulte de traités et de règles coutumières et, de plus en plus souvent, de principes non obligatoires. Par exemple, certaines conventions relatives à des espaces internationaux se réfèrent à l'intérêt de l'humanité pour souligner la nécessaire utilisation à des fins pacifiques de ces espaces.

Justice environnementale

La justice environnementale est le traitement écologique et la participation de toutes les personnes indépendamment de leur race, nation, classe sociale, économique, culturelle en relation avec l'application des lois et politiques relatives à l'environnement. Le traitement écologique signifie qu'aucun groupe de personnes ne doit supporter de façon disproportionnée les conséquences environnementales négatives qui résultent d'activités économiques ou de politiques environnementales (focus III.1).

Ombudsman

Médiateur de la République en France, protecteur du citoyen dans les autres pays francophones, défenseur du citoyen dans les pays hispaniques. L'*ombudsman* participe à la solution des différends de type administratif dans le secteur public ou privé. Le recours à un *ombudsman* est gratuit, tout comme le recours à un médiateur.

Optimalité (au sens de Pareto)

Situation dans laquelle on ne peut améliorer la situation d'un agent sans détériorer la situation d'un autre. C'est la situation qui caractérise l'efficacité des allocations (les ressources sont utili-

GLOSSAIRE (SUITE)

sées là où elles sont le plus utile). On peut définir une infinité d'*optima* parétiens qui diffèrent par leurs caractéristiques distributive (les avantages et les coûts associés aux ressources ne sont pas répartis entre les agents de la même façon d'un optimum de Pareto à l'autre).

Précaution

Attitude vis-à-vis du risque ou de l'incertitude par laquelle les décisions intègrent l'importance d'éviter de se retrouver sur des trajectoires irréversibles. Une manifestation possible est une approche séquentielle des décisions visant à repousser les choix irréversibles jusqu'au moment où les perspectives d'amélioration de l'information ne justifient plus d'attendre. En économie, se dit d'une situation de décision dans l'incertain où le décideur doit faire des choix irréversibles dans le futur alors qu'il peut espérer réduire l'incertitude par une meilleure connaissance mais disponible seulement dans le futur. L'analyse économique de la précaution préconise d'attribuer un surcroît de valeurs aux options flexibles de façon à pouvoir s'adapter à l'amélioration de l'information relative aux conséquences futures des choix.

Principe de précaution

En droit, ce principe est une démarche juridique de prévention, par des mesures effectives et proportionnées et à un coût économiquement acceptable, des effets d'un risque de dommage grave et irréversible à l'environnement, dans l'hypothèse d'une incertitude sur les caractéristiques de ce risque en l'état des connaissances scientifiques et techniques du moment. Le principe de précaution est formalisé dans la Charte constitutionnelle de l'environnement (art. 5) et dans le Code de l'environnement (art. L. 110-1).

Résilience

En écologie et en biologie, la résilience est la capacité d'un écosystème, d'une espèce ou d'un individu à récupérer un fonctionnement ou un développement normal après avoir subi une perturbation. Dans la théorie des systèmes dynamiques, le terme désigne l'étendu du bassin d'attraction d'un attracteur (état stationnaire

stable ou cycle supercritique). Le système revient vers l'attracteur si le choc ne dépasse pas les bornes du bassin d'attraction. Dans la littérature managériale, le terme désigne indifféremment la résistance aux chocs externes d'une entreprise ou sa capacité de récupération après un épisode de crise (renouer avec les profits). La résilience est définie par la Commission européenne comme la « capacité d'une personne physique, d'un ménage, d'une communauté, d'un pays ou d'une région à résister, à s'adapter et à récupérer rapidement à la suite de crises ou de chocs » (COM 586, 2012).

Responsabilité

Obligation de répondre de ses actes ou plus spécifiquement en droit d'un dommage causé.

Réversibilité/irréversibilité

En économie, l'irréversibilité caractérise en général les choix qui ont pour conséquences de limiter les options disponibles dans le futur. En écologie la réversibilité est le retour à un état initial du système après une perturbation. L'irréversibilité est le non-retour à l'état initial après une perturbation du système (sortie du bassin d'attraction ou bifurcation).

Sécurité juridique

Principe juridique destiné à assurer la protection des sujets de droit contre le risque d'arbitraire du Législateur. Son respect exige la prévisibilité des règles juridiques (exigence de clarté, d'intelligibilité et d'accessibilité, règles de publicité des actes contraignants) qui permet aux acteurs de connaître leurs droits et obligations ; et ainsi les conséquences juridiques de leurs actes et comportements. Il implique une certaine stabilité des relations juridiques dans l'application effective des règles (non rétroactivité des lois pénales, protection relative des droits acquis, respect des délais de prescriptions et de recours).

Services écosystémiques

Avantages que les sociétés retirent du fonctionnement des écosystèmes. Notion développée à la fin des années 1970 pour analyser les relations entre natures et sociétés et la dépendance

des sociétés vis-à-vis des écosystèmes. On lui reproche d'induire une vision utilitariste de ces relations. Dans le Millennium Ecosystem Assessments (2005), les services éco-systémiques sont définis comme les bénéfices que les humains tirent des écosystèmes. La directive 2004/35/CE sur la responsabilité environnementale définit les services liés à des ressources naturelles comme les « fonctions assurées par une ressource naturelle au bénéfice d'une autre ressource naturelle ou du public ».

Système complexe

La notion de complexité varie selon le domaine considéré. Une définition pertinente pour l'écologie et l'économie est la suivante. Un système complexe est un ensemble constitué d'un nombre d'entités en interaction qui rendent difficile/impossible la prévision de son évolution par le calcul de la part d'un observateur. Un système est un ensemble de composants en interaction modélisable en forme de graphe. Ce graphe a des propriétés de complexité. Le graphe n'est pas complet (tout le monde n'interagit pas avec tout le monde) et les interactions, les échanges d'information, ont un caractère locale. De plus, des boucles de rétroaction existent (une entité influence son état futur par le biais d'autres entités). Les interactions des entités forment des groupes d'entités localement liées. Chaque groupe interagit aussi avec les autres groupes : on peut ainsi modéliser le système complexe par niveaux (exemple : molécule, cellule, tissu, organisme, population, écosystème, biosphère).

Taux d'escompte social

Pour comparer des flux financiers intervenants à des moments différents, les économistes ont défini une transformation de ces flux visant à leur attribuer une valeur du point de vue du moment de la décision (actualisation). Cette procédure consiste à multiplier la valeur de ces flux par un facteur (facteur d'actualisation) qui traduit l'amoindrissement de cette valeur avec l'éloignement temporel. Dans la situation la plus simple, cet amoindrissement est supposé régulier dans le sens où il se produit à un taux constant, géné-

ralement annuel (a) qui permet de présenter la valeur présente v_0 du flux disponible au temps t sous la forme : $v_0 = v_t / (1+a)^t$.

Tipping point

En écologie : point critique au-delà duquel le système passe de manière abrupte d'un état à un autre. En théorie des systèmes dynamiques : frontière du bassin d'attraction ou valeur critique de bifurcation d'un paramètre.

Trajectoire

Ensemble des positions successives d'un système dynamique. En temps discret, une trajectoire est donnée par une suite de points d'un espace donné, indexée par le temps. En temps continu, la trajectoire est représentée par une fonction (du temps) qui détermine à chaque instant la position du système.

Valeurs

Sont à la fois des intuitions, selon lesquelles il existe une hiérarchie de l'importance des actions et choses et des normes auxquelles les acteurs sociaux se réfèrent pour fonder leurs jugements et leurs actions. Dans certains cas, les valeurs font l'objet d'une institutionnalisation quand elles sont inscrites dans des textes juridiques ou portées par des institutions spécifiques.

LISTE DES AUTEURS

- Luc Abbadie, UMR 7618, Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris (Université Pierre et Marie Curie, CNRS, INRA, IRD, Université Paris Diderot, Université Paris Est Créteil)
- Jean-Pierre Amigues, UMR 1081 Laboratoire d'économie des ressources naturelles (INRA, Université Toulouse 1)
- Karima Benzada, UMR 7363 Sociétés, acteurs, gouvernement en Europe (CNRS, Université de Strasbourg)
- Philippe Billet, EA 666 Equipe de droit public (Université Lyon 3)
- Marie-Pierre Camproux-Duffrène, UMR 7363 Sociétés, acteurs, gouvernement en Europe (CNRS, Université de Strasbourg)
- Denis Couvet, UMR 7204 Centre d'écologie et de sciences de la conservation (CNRS, MNHN, Université Pierre et Marie Curie)
- Wolfgang Cramer, UMR 7263 Institut méditerranéen de la biodiversité et d'écologie marine et continentale (Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, Université d'Avignon)
- Isabelle Doussan, (INRA) UMR 7321 Groupe de recherche en droit, économie, gestion (CNRS, Université de Nice - Sophia Antipolis)
- Charles Figuières, UMR 5474 Laboratoire montpellierain d'économie théorique et appliquée (CNRS, INRA, Montpellier SupAgro, Université Montpellier 1)
- Emilie Gaillard, UMR 6262 Institut de l'Ouest : droit et Europe (CNRS, Université Rennes 1)
- Nathalie Hervé-Fournereau, UMR 6262 Institut de l'Ouest : droit et Europe (CNRS, Université Rennes 1)
- Alexandra Langlais, UMR 6262 Institut de l'Ouest : droit et Europe (CNRS, Université Rennes 1)
- Franck Lecocq, UMR 8568 Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (AgroParisTech, CIRAD, CNRS, École des Ponts ParisTech, EHESS).
- Michel Loreau, USR 2936 Station d'écologie expérimentale du CNRS à Moulis (CNRS)
- Sandrine Maljean-Dubois, UMR 7318 Centre d'études et de recherches internationales et communautaires (CNRS, Aix-Marseille Université)
- Vincent Martinet, UMR 210 Économie publique (AgroParisTech, INRA)
- Agnès Michelot, EA 3170 Centre d'études juridiques et politiques (Université de La Rochelle)
- Hélène Morlon, UMR 8197 Institut de biologie de l'Ecole Normale Supérieure (CNRS, ENS, INSERM)
- Gilles Pinay, UMS 3343 Observatoire des sciences de l'univers de Rennes (CNRS, Université Rennes 1)
- Lionel Ragot, UMR 7235 EconomiX (CNRS, Université Paris-Ouest Nanterre - La Défense)
- François Salanié, UMR 1081 Laboratoire d'économie des ressources naturelles (INRA, Université Toulouse 1)
- Jean-Michel Salles, UMR 5474 Laboratoire montpellierain d'économie théorique et appliquée (CNRS, INRA, Montpellier SupAgro, Université Montpellier 1)
- Katheline Schubert, UMR 8174 (CNRS, Université Paris 1)





Crédit photos/Illustrations : © CNRS Photothèque : René Bally - Jean-Marc Bonmatin - Thierry Gauquelin - Emilie Mariat - Lucien Montaggioni - © Fotolia - © Wikicommons - © IRSTEA - ©PQR/Ouest France